

공학박사 학위논문

엔지니어링 워크스테이션의 OpenGL 기반
3D 그래픽스 어플리케이션 성능 개선에 관한 연구

A Study on the Performance Improvement of OpenGL based
3D Graphics Applications on Engineering Workstations

지도교수 정 재 현

2006년 8월

한국해양대학교 대학원

기계공학과

김 희 중

본 논문을 김희중의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 조종래

(인)

위 원 안중환

(인)

위 원 박명규

(인)

위 원 이영호

(인)

위 원 정재현

(인)

2006년 7월 3일

한국해양대학교 대학원

A Study on the Performance Improvement of OpenGL based 3D Graphics Applications on Engineering Workstations

Kim Heui Jung

Department of Mechanical Engineering, Graduate School

Korea Maritime University

Abstract

In 1992, OpenGL from SGI became the most important 3D-API for engineering graphics applications including 3D CAD. The accelerating performance for OpenGL-based 3D graphics application is the first issue of current engineering workstation market.

The performance of 3D CAD application is adopted in the area of the hardware devices like microprocessor, main memories, and sub memories. And software includes device drives and operating system. Although the higher performance of 3D CAD application is acquired by the optimized balance of these parts, workstation has many difficulties by generic constructing of computer system.

In this paper, the improvement of the performance of OpenGL based 3D graphics for the developers and users of 3D CAD applications on engineering workstations is studied. The analysis of the performance in the configuration of microprocessor, amount of memories, OpenGL acceleration of graphic subsystem and operating environments are investigated. The effects on improving OpenGL 3D-API and 3D CAD applications by the configuration of microprocessors, memories, graphics subsystems and operating environments are also examined.

The single configuration of microprocessor is better than multiple configuration. The amounts of memories are major impact element of workstation and applications. And the accelerating performance of OpenGL in graphics subsystem is not proportioned to that of 3D CAD applications.

Controlling by configuring of environmental factors of graphics subsystem, operating systems, and device drivers make the higher improvements of performance.

Therefore, users and developers of graphics engineering workstations should apply it for the optimized systems for 3D CAD applications.

목차

1. 서론	1
1.1. 연구 배경	1
1.2. 연구 목적	2
1.3. 연구 방법	3
2. 마이크로프로세서 구성에 따른 3D 그래픽스 성능 변화	10
2.1. OpenGL 3D-API 성능 분석	11
2.2. OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션 성능 분석	18
2.3. 마이크로프로세서 성능에 따른 3D 그래픽스 성능 변화	25
3. 기억장치 용량 변화에 따른 3D 그래픽스 성능 변화	28
3.1. 마이크로프로세서와 주기억장치 구성에 따른 성능 변화	28
3.2. 보조기억장치 운용에 따른 3D 그래픽스 성능 변화	38
3.2.1. I/O 서브시스템 변화에 따른 성능 개선	38
3.2.2. 가상 기억장치 변화에 따른 3D 그래픽스 성능 변화	39
4. 그래픽스 서브시스템에 따른 OpenGL 가속 성능 변화	41
4.1. OpenGL 그래픽스 서브시스템에 따른 3D 그래픽스 성능	45
4.2. OpenGL 3D 성능 요소 분석	53
4.3. 그래픽스 서브시스템 설정에 따른 3D-API 가속 성능 분석	55
4.4. 그래픽스 서브시스템의 3D CAD 어플리케이션 성능 분석	67
4.5. 드라이버 개정에 의한 OpenGL 가속 성능 변화	77
5. 운영 환경에 따른 3D 그래픽스 성능 분석	82
5.1. 운영 체제에 따른 3D 그래픽스 성능 변화	82
5.2. OpenGL 프로그래밍 단계의 성능 저하 요소 분석	90
6. 고찰	93
6.1. 마이크로프로세서와 기억장치 구성	93
6.2. 그래픽스 서브시스템 구성	98
6.3. 운영 환경 개선에 의한 성능 변화	99
7. 결론	101

List of Figures and Tables

Figures

Figure 1 .1 Networking configuration for remote monitoring of workstation performance	6
Figure 2 .1 Photos of the single and the dual microprocessor on their motherboard	10
Figure 2 .2 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	12
Figure 2 .3 Processor times of Pentium 4 and dual Xeon processor with SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL	14
Figure 2 .4 SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	16
Figure 2 .5 SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	16
Figure 2 .6 Geometric test ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	19
Figure 2 .7 Geometric test ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	21
Figure 2 .8 Processor times of Pentium 4 and dual Xeon processor in SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL	22
Figure 2 .9 Processing and processor time of Pentium 4 and dual Xeon processor in OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL	24
Figure 2 .10 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds ..	26
Figure 2 .11 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds	26
Figure 2 .12 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds	27
Figure 2 .13 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds	27
Figure 3 .1 SPECViewperf 8.1 in two memory configurations on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	29
Figure 3 .2 SPECapc for Pro/Engineer 2001 in two memory configurations on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	31
Figure 3 .3 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 in two memory configurations on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	32
Figure 3 .4 Processor times and available memories of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB vs. 2GB	34
Figure 3 .5 Processor times and available memories of SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by	

Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB vs. 2GB	35
Figure 3.6 Measured ratio, processor times and available memories of SPECapc for UGS NX3 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 2GB	37
Figure 3.7 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL in two I/O subsystem configurations of the generic and optimized on Pentium 4 processor.....	39
Figure 3.8 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with three virtual memory configurations of 512M, 1GB and 2GB.....	40
Figure 4.1 SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor.....	42
Figure 4.2 SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor	42
Figure 4.3 SPECViewperf 8.1 by four graphics subsystems on Pentium 4 processor with 1GB and 2GB memories	46
Figure 4.4 SPECViewperf 8.1 by four graphics subsystems on dual Xeon processor with 1GB and 2GB memories	47
Figure 4.5 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by four graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories	49
Figure 4.6 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 2GB memories.....	50
Figure 4.7 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by four graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories	51
Figure 4.8 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by four graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 2GB memories	52
Figure 4.9 Weighted geometric mean ratios of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 graphics subsystem on Pentium 4 and dual Xeon processor.....	56
Figure 4.10 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2.....	57
Figure 4.11 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2.....	58
Figure 4.12 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2.....	59
Figure 4.13 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2.....	60
Figure 4.14 Weighted geometric mean ratios of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor.....	62

Figure 4.15 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	63
Figure 4.16 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	64
Figure 4.17 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	65
Figure 4.18 Ugs-04 Viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL	66
Figure 4.19 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories	68
Figure 4.20 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories	69
Figure 4.21 Processed time ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	70
Figure 4.22 Processed time ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	71
Figure 4.23 Geometric mean ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with 2GB memories	73
Figure 4.24 Geometric mean ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with 1GB and 2GB memories	73
Figure 4.25 Processed time ratios of OCUSB 4.2 graphics Components by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories	75
Figure 4.26 Processed time ratios of OCUSB 4.2 graphics components by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories	76
Figure 4.27 Geometric mean ratios of SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with 2GB memories	77
Figure 4.28 Viewsets of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL with Windows XP ELSA/NVIDIA drivers on Pentium 4 processor	78
Figure 4.29 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL with Windows XP ELSA/NVIDIA drivers on Pentium 4 processor	79
Figure 4.30 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL with Windows XP ELSA/NVIDIA drivers on Pentium 4 processor	79
Figure 4.31 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL with NVIDIA GNU/Linux drivers on	

Pentium 4 processor.....	81
Figure 4.32 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL with NVIDIA GNU/Linux drivers on Pentium 4 processor	81
Figure 5.1 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on GNU/Linux and Windows systems with 1GB and 2GB memories	83
Figure 5.2 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL on GNU/Linux and Windows systems with 1GB and 2GB memories	84
Figure 5.3 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Windows systems with 1GB and 2GB memories	86
Figure 5.4 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Windows systems with 1GB and 2GB memories.....	87
Figure 5.5 SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Windows systems of Pentium 4 processor.....	88
Figure 5.6 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Windows systems of Pentium 4 processor with 1GB memories.....	89
Figure 5.7 Graphics pipelines of OpenGL 3D-API specification	90
Figure 6.1 SPECViewperf 8.1 and SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL with hyper-treading enable or not on dual Xeon processor.....	95
Figure 6.2 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 740XGL in increasing the per-process memory limit in 32-bit application environment on Pentium 4 processor	97

Tables

Table 1.1 Host system configurations for 3D graphics workstation	4
Table 1.2 Test description of catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1.....	7
Table 1.3 Test description of proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1	7
Table 1.4 Test description of sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1.....	8
Table 1.5 Test description of ugs-03 viewset of SPECViewperf 8.1.....	8
Table 1.6 Test description of SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Wildfire 2.0.....	8
Table 1.7 Test description of OCUSB 4.2 for Pro/Engineer Wildfire 2.0	9
Table 2.1 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	13
Table 2.2 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	13
Table 2.3 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	13

Table 2.4 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor	13
Table 2.5 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	17
Table 2.6 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	17
Table 2.7 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	17
Table 2.8 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor	17
Table 4.1 Graphics Subsystems for performance test	41
Table 4.2 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor	43
Table 4.3 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor	43
Table 4.4 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor	43
Table 4.5 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor	43
Table 4.6 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor	44
Table 4.7 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor	44
Table 4.8 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor	44
Table 4.9 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor	44

1. 서론

1.1. 연구 배경

1980년대 이후 범용 3D CAD (Computer Aided Design) 어플리케이션의 개발과 보급에 있어 엔지니어링 워크스테이션은 3D 컴퓨터 그래픽스 운용을 위한 핵심 플랫폼으로 사용되어 왔다. 엔지니어링 워크스테이션은 32-비트 마이크로프로세서, 근거리 네트워크 인터페이스 그리고 3D 그래픽스 서브시스템 등의 하드웨어와 UNIX 운영체제, X-Window System 그리고 3D-API (application programming interface) 등의 소프트웨어를 갖추고, 이전 시대의 메인 프레임과 미니 컴퓨터에서 운용하였던 대형 3D CAD 작업을 데스크 탑 환경으로 옮겨 놓았다.

하지만 주요 엔지니어링 워크스테이션의 서로 다른 하드웨어 종속성과 높은 가격은 시스템 도입의 큰 장애물이 되었다. 1990년대 중반, 인터그래프는 인텔의 X86 마이크로프로세서와 마이크로프로세서 윈도우 NT 워크스테이션 운영체제를 표준으로 한 퍼스널 워크스테이션을 출시한다^[1]. 이후 퍼스널 워크스테이션은 엔지니어링 워크스테이션에 비해 단점이 많음에도 불구하고 높은 효율성과 친숙한 사용 환경으로 급속히 시장을 넓혀 갔으며, 주요 3D CAD 어플리케이션의 퍼스널 워크스테이션 지원으로 현재는 UNIX 기반 엔지니어링 워크스테이션과의 경쟁에서 이미 우위를 점하고 있으며^[2], 엔지니어링 워크스테이션이라는 용어는 더 이상 두 시스템을 구분하는 것이 아닌 일반적인 워크스테이션을 의미하게 되었다.

이러한 3D CAD 시장의 변화를 초래한 주요한 원인의 하나는 OpenGL 3D-API의 등장이었다. 기존 엔지니어링 워크스테이션 환경에서 표준 3D-API로 사용되던 PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System)나 PEX(PHIGS Extension to X)는 뛰어난 기능을 제공했지만 기본적으로 UNIX/X-Window 환경에서 운용되었다^[3]. 그러나 1990년 SGI는 그래픽스 하드웨어와 운영체제로부터 독립된 3D-API로서 OpenGL을 개발하게 되고, 이후 모든 하드웨어 및 소프트웨어 개발사들의 채택이 급증하면서, 현재 OpenGL은 엔지니어링 3D CAD를 포함한 3D 그래픽스 분야에서 표준 3D-API로 사용되고 있다^[4].

현재 워크스테이션 시장은 모든 컴퓨터 시스템 개발자에게 개방된 환경을 가지고 있다. 비록 워크스테이션은 일반 개인용 컴퓨터와 차별화된 시장을 가지고 있지만, 모든 하드웨어 구성 요소는 표준화된 제품을 사용하고 있다. 그럼에도 불구하고 워크스테이션으로 출시된 국내의 많은 컴퓨터 시스템은 주요 외국 업체들의 워크스테이션에 비해

시스템 안정성과 3D CAD 어플리케이션 운용 성능성에서 상당한 격차를 가지고 있다. 때문에 시스템 개발자는 주요 3D CAD 어플리케이션 운용에 대한 워크스테이션의 최적 환경을 제공하기 위한 정보가 필요하며, 이러한 문제의 해결 없이는 현재의 공개된 워크스테이션 시장에서 경쟁력 있는 제품을 개발하지 못한다.

사용자 측면에서는 3D CAD 어플리케이션의 운영을 위한 워크스테이션 도입 비용뿐만 아니라 지속적인 성능 유지를 위해 추가 비용이 계속 요구될 수 있다. 현재 3D CAD 어플리케이션의 개정 속도는 하드웨어의 발전과 함께 급속히 진행되고 있어, 어플리케이션 교체로 인한 시스템 확장이 요구되는 경우도 많다. 하지만 이러한 일방적인 대응은 3D CAD 어플리케이션의 성능 향상에는 효과가 없거나 오히려 생산성 저하를 초래할 수도 있다. 3D CAD 시스템 운용을 위한 하드웨어 플랫폼에 대한 투자는 전체 비용에 있어 매우 중요한 부분이므로, 현재의 시스템 환경에서 새로운 비용의 유발 없이 3D CAD 어플리케이션의 성능 향상을 얻는다면 생산성 향상에 크게 기여할 수 있을 것이다.

이러한 배경으로 본 논문에서는 3D CAD 어플리케이션 운용을 위한 워크스테이션 개발과 사용 과정에서 OpenGL 3D-API 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션 운영 개선을 위해 개발자가 고려해야 할 하드웨어 및 소프트웨어의 문제점과 대안을 파악하고 시스템 사용 효율을 극대화할 수 있는 방법을 연구한다.

1.2. 연구 목적

워크스테이션이 3D CAD 어플리케이션을 포함한 엔지니어링 컴퓨팅 분야 성능을 결정하는 하드웨어 플랫폼이 되면서 성능과 효율을 개선하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다. 하지만 워크스테이션 및 3D CAD 어플리케이션 성능 평가는 개발사들의 영업 전략의 하나로 활용되어 상당수가 주관적인 측면에서 이루어져 객관적인 자료로는 미흡하다. 때문에 SPEC(Standard Performance Evaluation Corporation)^[5]과 같은 협의체가 구성되면서 표준적인 성능 평가에 대한 인식이 일반화되었고, 워크스테이션의 성능 검증의 기준이 되고 있다.

워크스테이션에서 마이크로프로세서와 I/O 그리고 컴퓨터 그래픽스 기능에 대한 성능 평가와 개선에 대한 연구가 가장 활발히 진행되어 왔다. Butler^[6]는 RISC (reduced instruction set computer) 프로세서 위주의 워크스테이션 시장에 등장한 CISC (complex instruction set computer) 프로세서인 IA (intel architecture)-32 마이크로프로세서의 멀티 프로세서 환경에서 3D CAD 어플리케이션 운영 성능을 평가하였고, NSTL(national software testing labs)^[7]은 워크스테이션 시장에 주류로 진입한 IA-32 마이크로프로세서에 대하여

다양한 성능 평가를 수행하였다. 컴퓨터 그래픽스가 3D CAD와 같은 엔지니어링 분야 뿐만 아니라 다양한 멀티미디어 환경에 적용되면서 Mahoney^[8]는 마이크로프로세서와 그래픽스 프로세서 사이의 비교 평가를 수행했으며, Metelitsa^[9]는 그래픽스 프로세서를 고려한 소프트웨어 개발 환경에 대해 연구했다. 최근에는 마이크로프로세서의 듀얼 코어 (dual core) 및 하이퍼-쓰레딩 (Hyper-threading) 기술 등이 개발되면서 그 영향에 대한 분석이 활발하다^[10]. 그리고 이러한 연구는 3D CAD 어플리케이션 환경의 개선 방향에서 진행되고 있다^[11]. 또한 3D CAD 어플리케이션이 구동되는 윈도우 시스템 차원에서 멀티 쓰레드 (multi thread) 지원에 대한 연구도 진행되고 있다^[12].

하지만 국내의 경우는 독자적인 워크스테이션과 3D CAD 어플리케이션 개발이 어렵기 때문에 시스템 차원에서의 연구는 적은 편이었으며, 1990년대 말 OpenGL 기반 라이브러리 개발에 집중되었고^[13], 최근 렌더링 처리^{[14],[15]} 및 임베디드 (embedded) 환경에서의 연구가 활발하다^[16]. 또한 일반적인 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 기능에 대해서 연구 등도 진행되고 있다^[17].

최근 워크스테이션의 환경이 64-비트 마이크로프로세서 환경으로 이전과 그래픽스 서브시스템 성능의 향상 그리고 3D CAD 어플리케이션 기능 개선으로 인해, 주요 워크스테이션 개발사들은 다양한 운용 환경에서 평가한 성능을 공개하고 있다. 하지만 이러한 성능 평가는 여전히 시스템 개발 업체의 특별한 의도 하에 공개되고 있다^[18]. 그러면서도 대부분의 워크스테이션 공급 업체들은 자사 시스템 간의 성능 평가를 공개하지 않음으로 인해, 워크스테이션 구성으로 인한 성능 차이에 의문을 가지게 하고 있다.

엔지니어링 워크스테이션과 3D CAD 어플리케이션이 최대 성능을 발휘하는 환경을 구축하고 유지하는 것은 개발자와 사용자 모두에게 중요한 문제이다. 본 논문에서는 워크스테이션의 주요 하드웨어 구성 요소와 OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션으로 구성된 시스템의 3D 그래픽스 성능을 대한 평가하고 이를 분석함으로써 최적 성능 환경을 구축하는 방안을 제시한다. 3D 그래픽스 성능은 OpenGL 3D-API 가속과 주요 3D CAD 어플리케이션 운용으로 구분하여 평가하였으며, 워크스테이션의 주요 구성 요소인 마이크로프로세서, 주기억장치, 3D 그래픽스 서브시스템, 보조기억장치 그리고 운영 환경 각각에 대해 성능을 평가하였다.

1.3. 연구 방법

3D 그래픽스 성능 평가를 위해 사용된 IA-32 워크스테이션과 OpenGL 그래픽스 서브시스템의 구성은 Table 1.1과 같다. 싱글 프로세서 환경에서는 Intel Pentium 4 마이크로프로세서가, 멀티 프로세서 환경에서는 Intel Xeon 마이크로프로세서가 사용된다.

OpenGL 3D-API 지원 그래픽스 서브시스템은 NVIDIA Quadro 계열과 ATI FireGL 계열을 사용하였다. 성능 평가의 대상인 3D CAD 어플리케이션은 PTC Pro/Engineer 2001, Pro/Engineer Wildfire 2.0 그리고 UGS Unigraphics NX3를 선택하였으며, 각 어플리케이션은 마이크로소프트 윈도우즈 NT 워크스테이션 및 GNU/Linux 2.4 환경에서 구동된다.

Table 1.1 Host system configurations for 3D graphics workstation

	Single processor	Dual processor
Motherboard type	E7205 chipset Iwill P4GB 533 FSB Hyper-Threading support	I860 chipset HP X4000 400 FSB Hyper-Threading support
Microprocessor	Intel Pentium 4 (No-HT)	Intel Xeon X 2 (HT)
Processor speed	2.4GHz	2.4GHz
Max. memory capacity	4GB PC2700	4GB PC800 ECC
Disk storage capacity	ATA 120GB 7200RPM	U160 73GB 10000RPM
NIC type	1GB ethernet	100MB ethernet
Graphics bus	AGP Pro 50 8X	AGP Pro 50 4X
Display monitor	HP A4331A 1280 X 1024 75Hz	HP A4331F 1280 X 1024 75Hz

OpenGL 3D-API 성능 비교에는 SPEC의 SPECViewperf 8.1을 사용하였다. SPECViewperf는 주요 OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션에서 생성된 데이터를 이용하여 워크스테이션의 OpenGL 환경에서의 그래픽스 서브시스템의 3D 렌더링 성능을 평가하는 것으로, 현재 OpenGL 그래픽스 서브시스템의 가속 성능을 평가하기 위한 표준적인 방법으로 사용되고 있으며, 본 논문에서는 8.1 버전을 기준으로 수행하였다. 각 성능 평가 항목의 내용은 Table 1.2 ~ 1.5와 같다. SPECViewperf의 결과는 식 (1)과 같은 가중기하평균치로 초당 프레임수로 측정된다. 식에서 $\frac{f}{t}$ 는 초당 프레임 수를 의미하며, i 는 테스트 런(test run)의 종류를 그리고 w_i 는 각 테스트 런의 중요도를 나타내는 가중치를 의미하며, $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ 의 관계를 만족해야 한다.

$$weighted\ geometric\ mean = \left(\frac{f}{t}\right)_1^{w_1} \times \dots \times \left(\frac{f}{t}\right)_n^{w_n} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{f}{t}\right)_i^{w_i} \quad (1)$$

3D CAD 어플리케이션 성능 비교에는 각 3D CAD 어플리케이션에 대한 SPEC의

SPECapc를 사용하였다. SPECapc for Pro/Engineer 2001은 1GHz의 인텔 Pentium III 프로세서와 1GB의 메모리 그리고 NVIDIA Quadro2 Pro 그래픽스 서브시스템을 갖춘 윈도우즈 2000 SP4 시스템을 기준으로 하고, SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0과 SPECapc for UGS NX3는 2.4GHz의 인텔 Pentium 4 프로세서와 2GB 메모리 그리고 QuadroFX 1000 그래픽스 서브시스템을 갖춘 윈도우즈 XP SP2 시스템을 기준으로 본 논문의 시스템과 상대적인 성능을 비교한다. 또한 윈도우즈 계열 이외의 운영체제에서의 3D CAD 어플리케이션 성능 비교를 위해 OCUSB 4.2 프로그램을 이용하여, GNU/Linux 운영체제에서 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 성능과 비교하였다. SPECapc와 OCUSB의 각 성능 평가 항목은 Table 1.6 ~ 1.7과 같다.

OpenGL 성능 평가를 OpenGL 3D-API 가속과 3D CAD 어플리케이션 운용으로 구분한 것은, 실제 3D CAD 어플리케이션의 운용은 그래픽스 서브시스템의 3D-API 가속 성능 뿐만 아니라 전체 시스템 환경에 영향을 받을 수 있기 때문이다. 그리고 본 논문의 모든 SPECViewperf와 SPECapc는 규정된 세부 규칙을 완벽하게 준수하였다.

워크스테이션 하드웨어 요소로서 마이크로프로세서 항목에서는 인텔 Pentium 4와 Xeon을 사용하여, 마이크로프로세서 성능과 구성에 따른 3D 그래픽스 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 현재 인텔 프로세서의 경우, 싱글 및 멀티 프로세서 구성을 위한 프로세서가 별도로 공급되기 때문에 프로세서 구성 차이에 따라 다른 하드웨어 구성의 차이가 발생할 수 있지만, 본 논문에서 최대한 동일한 하드웨어 사양을 유지하도록 시스템을 구축하였다. 그리고 OpenGL 3D-API 성능 평가를 SPECViewperf 8.1의 재생성에는 마이크로소프트 Visual Studio 6.0과 GCC 3.0을 사용하였다. 주기억장치 성능 분석에서는 주기억장치 용량 변화에 따른 3D 그래픽스의 성능 변화를 분석한다. 주기억장치는 시스템의 하드웨어 설계와 운영체제에서 실제 운용할 수 있는 용량은 최대 용량과 차이가 있다. 본 논문에서 사용된 HP X4000 시스템은 32-비트 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열에서 주기억장치 용량이 최대 4GB으로 제한된다. 3D 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 성능에 하드웨어 성능에 따른 차이와 드라이버 주요개정에 따른 OpenGL 가속 성능 변화를 측정하였다. 3D CAD 어플리케이션은 사용 인증된 그래픽스 서브시스템을 기준으로 주요 개정과 비교하였다. 또한 보조기억장치의 성능은 OpenGL 3D-API 가속 성능에 직접적인 영향은 없지만 실제 3D CAD 어플리케이션을 운용에는 큰 영향을 줄 수 있다는 점에서 I/O 성능 변화에 따른 3D CAD 어플리케이션 성능 변화를 분석하였다.

마이크로프로세서와 주기억장치 변화와 함께 그래픽스 서브시스템의 성능 평가는 Quadro4 750XGL을 기준으로 FireGL2, Quadro2 MXR/EX 그리고 QuadroFX 1100에 대한 OpenGL 가속 성능 및 3D CAD 어플리케이션 운용을 평가하였다. 그래픽스 서브시스템

드라이버와 3D CAD 어플리케이션의 운용 운영체제와 윈도우 시스템 환경에서 따른 3D 그래픽스 성능을 분석하기 위해 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열과 함께 GNU/Linux 운영체제에서의 성능 평가를 수행하여^[19], 3D 그래픽스 워크스테이션의 운영체제로서의 GNU/Linux 도입에 대하여 분석하였다^{[20],[21]}. 그리고 마이크로프로세서, 주기억장치 등에서의 성능 평가 항목에 대하여 Fire GL 및 Quadro 그래픽스 프로세서를 사용한 주요 그래픽스 서브시스템의 3D 그래픽스 성능 개선에 평가 과정을 수행한다.

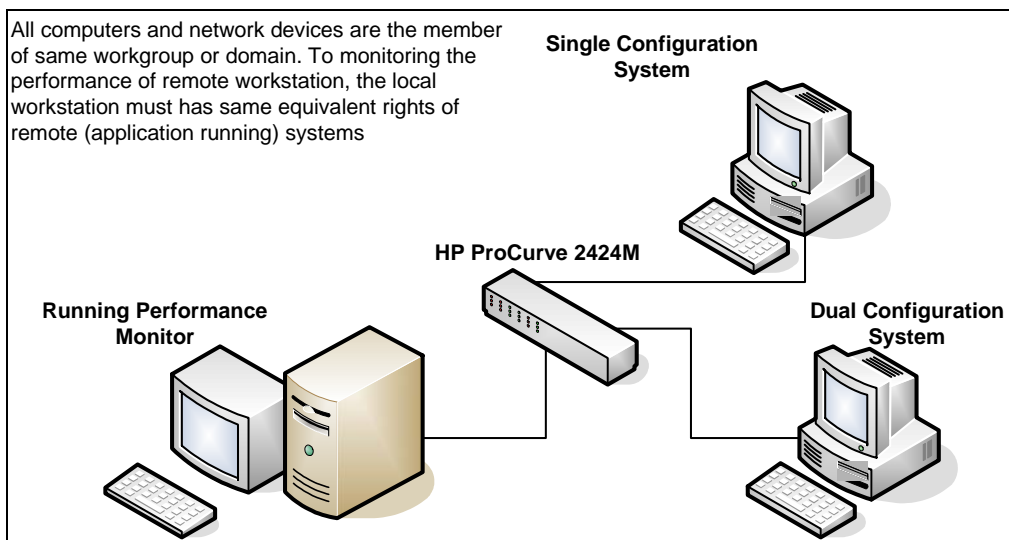


Figure 1.1 Networking configuration for remote monitoring of workstation performance

워크스테이션의 3D 그래픽스 성능 평가를 얻기 위한 방법으로 별도의 성능 측정 어플리케이션을 사용하지 않고 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열에 포함된 성능 모니터 프로그램인 Perfmon을 이용하여 원격 시스템에서 각 평가 항목의 성능 변화를 측정하였다^[22]. 이러한 방법을 통하여 성능 측정을 위한 방법 자체가 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있었다. 원격 모니터링 시스템 구축을 위해서는 Figure 1.1과 같이 3D CAD 어플리케이션이 작동하는 시스템에 대한 근거리 네트워크 및 보안 환경을 갖추도록 구성하였다. 본 논문의 성능 평가 방법은 네트워크 부하를 측정하는 경우를 제외하고, 실제 3D CAD 어플리케이션의 수행을 완벽하게 모니터링 한다. 본 논문의 모든 성능 평가는 SPECviewperf^[23]와 SPECapc^[24]의 세부적인 측정 수행 규정을 준수하였다.

Table 1.2 Test description of catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1

Test no.	Description	Weight (%)
1	Engine, SHD, immediate mode	9
2	Engine, SHD with edges, vertex arrays	9
3	Engine, SHD with hidden edges, immediate mode	9
4	Car, SHD , immediate mode	9
5	Car, NHR, immediate mode	10
6	Submarine, SHD, immediate mode	9
7	Submarine, NHR, immediate mode	9
8	Submarine, NHR, anti-aliased lines, immediate mode	9
9	Submarine, SHD with edges, immediate mode	9
10	Submarine, HRD, vertex arrays	9
11	Submarine, SHD with hidden edges, immediate mode	9

Table 1.3 Test description of proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1

Test no.	Description	Weight (%)
1	PTC World Car shaded	13.5
2	PTC World Car shaded to show model detail	13.5
3	PTC World Car using hidden-line-removal mode	13.5
4	PTC World Car using wireframe mode	16.0
5	PTC World Car using anti-aliased lines	16.5
6	PTC copier shaded	13.5
7	PTC copier using hidden-line-removal mode	13.5

Table 1.4 Test description of sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1

Test no.	Description	Wight (%)
1	Suzuki engine, wireframe, immediate mode	12.5
2	Suzuki engine, wireframe with edges, vertex array	12.5
3	Suzuki engine, shaded with edges, vertex array	12.5
4	Suzuki engine, shaded , vertex array	12.5
5	GTX car, shaded vertex array	12.5
6	GTX car, shaded with edges, vertex array	12.5
7	GTX car, wireframe, immediate mode	12.5
8	GTX car, wireframe, visible edges, vertex array	12.5

Table 1.5 Test description of ugs-03 viewset of SPECViewperf 8.1

Test no.	Description	Weight (%)
1	Shaded engine	16.5
2	Shaded engine, clipped	16.5
3	Transparent engine	16.5
4	Transparent engine, clipped	16.5
5	Wireframe engine	8.5
6	Wireframe engine, clipped	8.5
7	Wireframe engine anti-aliased	8.5
8	Wireframe engine anti-aliased, clipped	8.5

Table 1.6 Test description of SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Wildfire 2.0

Test no.	Test set description	
#1	Top level load erase load	
#2	Top level regeneration	
#3	Top level retessellation	
#4	Engine mass properties	
#5	Top level graphics	
#6	Body fast hidden line removal	
#7	IGES import export	
#8	Crankshaft drawing and regeneration	

Table 1.7 Test description of OCUSB 4.2 for Pro/Engineer Wildfire 2.0

Test no.	Test set description	
#1	(GR) 80 real time rendered redraws	
#2	(GR) 75 hidden line redraws with fast hidden line removal	
#3	(GR) 70 show dimensions	
#4	6 part selections	
#5	50 wireframe redraws with DTMS	
#6	5 advanced shaded mouse zooms	
#7	IGES Import Export	
#8	4 hidden line redraws	
#9	220 shaded redraws	
#10	200 wireframe redraws	
#11	20 Screen updates	
#12	20 Comp.Disp. Translates	
#13	15 X-Section shows	
#14	15 wireframe mouse zooms	
#15	1 shaded mouse spins	

2. 마이크로프로세서 구성에 따른 3D 그래픽스 성능 변화

마이크로프로세서의 성능은 워크스테이션의 핵심 요소로 더 빠르고 많은 주기억장치 공간을 지원하게끔 발전하고 있으며, 현재 그래픽스 워크스테이션에서 주로 사용되고 있는 IA 기반 마이크로프로세서 환경도 32-비트에서 64-비트로 진화하고 있다. 하지만 워크스테이션 성능의 향상을 위한 보다 빠른 마이크로프로세서로의 교체 혹은 멀티 프로세서 구성에 대한 고비용의 투자가 실질적인 3D 그래픽스 성능에 비례하는가에 대한 의문이 있어 왔다. 일반적으로 고급 워크스테이션일수록 멀티 프로세서 구성을 하며, 멀티 프로세서 구성은 싱글 프로세서에 비해 월등히 높은 성능을 제공한다고 알려져 있다^[25]. 많은 워크스테이션 개발사들은 싱글 프로세서와 멀티 프로세서로 구분된 워크스테이션을 출시하면서도 멀티 프로세서 시스템에서의 뛰어난 3D 그래픽스 성능을 광고하지만, 실제로 싱글 프로세서와 멀티 프로세서 시스템 간의 성능 비교 자료는 공개하지 않고 있다.



(a) Single Pentium 4 microprocessor

(b) Dual Xeon microprocessor

Figure 2.1 Photos of the single and the dual microprocessor on their motherboard

본 논문에서는 싱글 및 멀티 프로세서 구성에서의 OpenGL 3D-API와 3D CAD 어플리케이션 성능을 비교하여 3D 그래픽스 성능 향상을 위한 최적의 마이크로프로세서 환경을 분석하였다. 현재 IA-32 마이크로프로세서는 싱글 프로세서 전용의 Pentium 4와 멀티 프로세서 전용의 Xeon으로 구분되어 있기 때문에^[26], 성능 평가는 Figure 2.1에서

와 같은 Pentium 4 2.4GHz 싱글 프로세서 타입 워크스테이션과 Xeon 2.4GHz 멀티 프로세서 타입 워크스테이션에서 1GB 용량의 주기억장치 용량을 기준으로 Quadro4 750XGL를 비롯한 주요 그래픽스 서브시스템에 대하여 수행되었다.

OpenGL 3D-API 가속 성능 평가는 SPECViewperf 8.1을 각 마이크로프로세서 구성에서 마이크로소프트 윈도우즈 XP SP2 환경에서 수행하며, 동일한 하드웨어 환경에서 3D CAD 어플리케이션 성능 평가를 위해 SPECapc for Pro/Engineer 2001, SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 그리고 UGS의 Unigraphics NX3를 수행하였다. SPECapc 시리즈가 상대적으로 대형 모델링 과정을 포함하기 때문에, 일반적으로 중간 규모 모델링에서의 성능을 평가하기 위해 Pro/Engineer Wildfire 2.0을 이용한 OCUSB 4.2 프로그램을 이용하였다^[27].

2.1. OpenGL 3D-API 성능 분석

Figure 2.2는 싱글 프로세서 시스템과 듀얼 프로세서 시스템에서의 Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템에 대한 식 (1)과 같은 SPECViewperf 8.1 뷰 세트의 기하 평균 값을 나타낸다. 결과는 멀티 프로세서 시스템에 대한 일반적인 연구 결과^[28]과 달리, 모든 비교 뷰세트에서 싱글 프로세서가 듀얼 프로세서 구성에 비해 높은 성능을 보여주고 있다. 각 개별 뷰세트의 세부 측정 항목에 대한 성능 변화는 Table 2.1 ~ 2.4와 같다. 각 뷰 세트의 세부 평가에서도 전체적으로 싱글 프로세서가 듀얼 프로세서에 비해 높은 성능을 보여주고 있다.

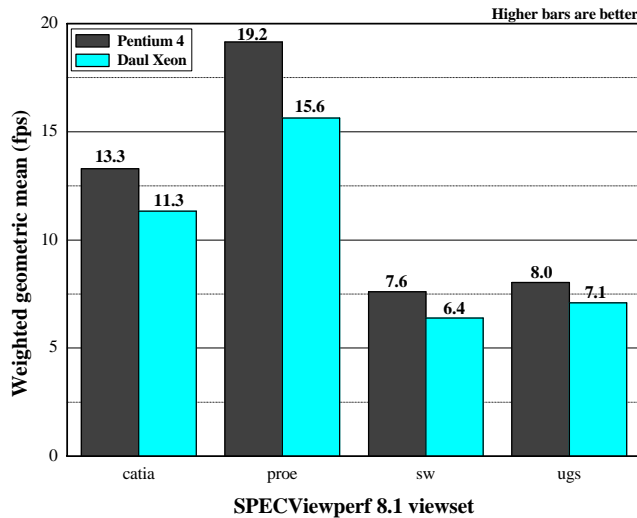


Figure 2.2 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

이러한 결과는 SPECViewperf 8.1과 같은 OpenGL 기반 그래픽스 어플리케이션의 멀티 프로세서 지원 여부에 좌우된다고 판단할 수 있다. 또한 SPECViewperf가 마이크로프로세서의 그래픽스 서브시스템에 영향력을 따로 평가하지 않는다는 점도 고려할 수 있다.

실제 SPECViewperf 8.1의 기하평균값과 두 시스템 구성 간의 마이크로프로세서 운용 비율을 측정한 결과를 Figure 2.3에 보였다. 싱글 프로세서 (a)는 전체 뷰 세트 구동 시간 동안 평균 96%로 마이크로프로세서의 성능을 최대한으로 사용하지만, 듀얼 프로세서는 48.1%를 기준으로 약 10% 정도의 변화를 보이고 있다. 듀얼 프로세서 (b)에서의 사용 비율 측정 결과는 각 마이크로프로세서 간의 사용 시간 비율이 62.4% vs. 33.8%로 상대적으로 하나의 마이크로프로세서에 집중되어 있으며, 전체 성능은 두 마이크로프로세서의 평균이라는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 일반적으로 싱글 프로세서에 비해 우수하다는 생각되는 듀얼 프로세서 임에도 불구하고 실제로는 두 마이크로프로세서를 모두 사용하지 못하고 있다는 것을 의미하며, OpenGL 3D-API 가속 기능에서는 싱글 프로세서가 듀얼 프로세서에 비해 사용 효율 면에서 더 우수하다는 것을 보여 주고 있다.

Table 2.1 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pentium 4	32.5	29.2	5.86	16.1	12.9	32.1	19.3	6.7	13.3	11.9	5.5
Xeon Dual	26.3	19.5	5.46	13.3	10.3	26	16	4.21	10.7	10.7	5.17

Table 2.2 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

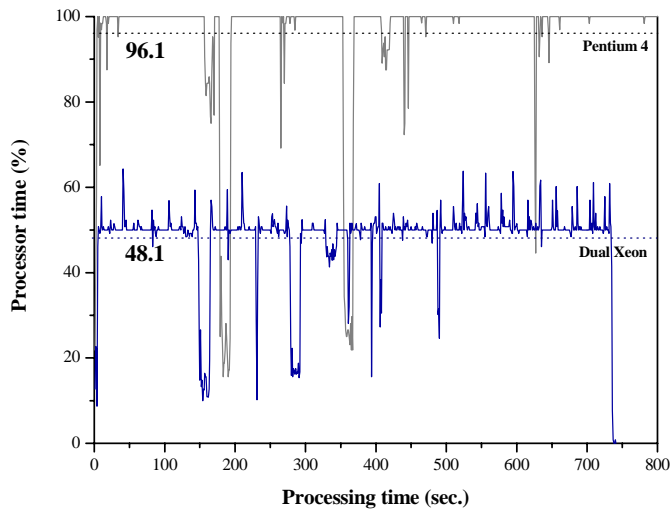
	1	2	3	4	5	6	7
Pentium 4	14.2	16.9	14.3	18.3	9.13	90.7	21.6
Xeon Dual	12.5	15	12.5	12.5	8.33	75	15

Table 2.3 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

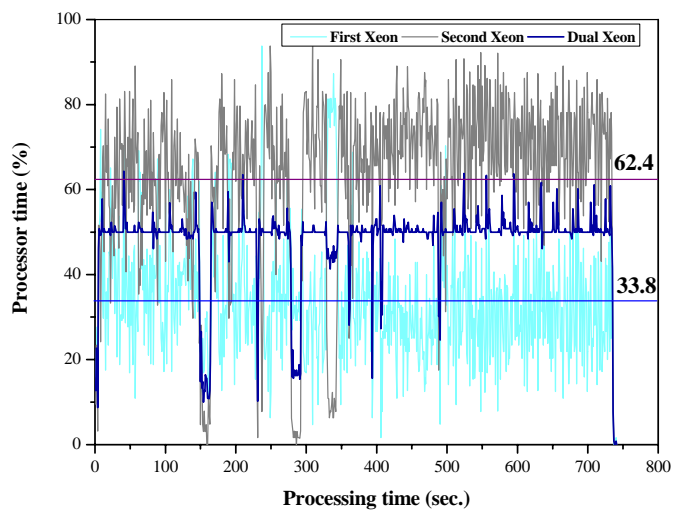
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	20.3	3.75	2.99	3.36	9.85	6.39	32.6	7.08
Xeon Dual	12.5	3	2.86	3.25	9.42	6.22	25	5.36

Table 2.4 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	6.33	7.17	5.21	5.8	19	23.5	7.13	11.3
Xeon Dual	5.77	6.58	4.69	5.06	14.9	18.1	6.76	10.3



(a) Pentium 4 vs. dual Xeon



(b) First Xeon vs. second Xeon

Figure 2.3 Processor times of Pentium 4 and dual Xeon processor with SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL

이상의 결과는 Quadro4 750XGL과 전혀 다른 그래픽 프로세서를 사용하는 그래픽 서브시스템에서도 동일하다. Figure 2.4는 GT1000 그래픽 프로세서를 사용하는

FireGL2의 SPECViewperf 8.1 성능 평가 결과이며, Table 2.5 ~ 2.8은 SPECViewperf 8.1의 각 뷰 세트 결과이다.

싱글 프로세서와 멀티 프로세서 구성에 따른 이상의 결과를 멀티 프로세서 구성을 위한 마이크로프로세서에 적용하여 싱글 Xeon 프로세서와 듀얼 Xeon 프로세서에 적용할 때 싱글 Xeon이 미세하게 앞서는 결과를 보였다. Figure 2.5는 FireGL2의 싱글 Xeon과 듀얼 Xeon 구성에서의 SPECViewperf 8.1의 성능 평가를 나타낸다. 이것은 멀티 프로세서 시스템에서 싱글 프로세서 운용은 오히려 멀티 프로세서의 기능이 필요로 하는 부분에서의 기능 저하를 초래하기 때문 더욱 비효율적인 환경을 구성하게 된다.

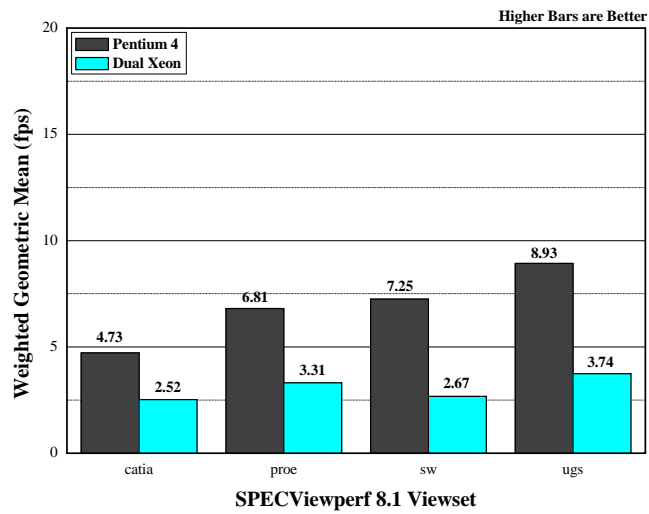


Figure 2.4 SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

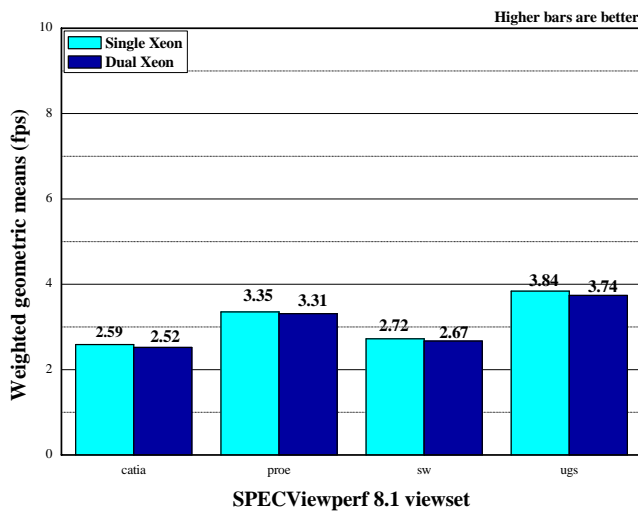


Figure 2.5 SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

Table 2.5 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pentium 4	11.9	8.06	5.83	7.85	3.74	18.4	5.96	5.35	4.51	3.57	10.1
Xeon Dual	3.93	3.29	2.16	2.45	1.56	5.64	2.37	2.37	1.67	1.32	3.94

Table 2.6 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7
Pentium 4	4.52	5.41	4.22	11.6	10.3	30.3	11.2
Xeon Dual	1.45	1.61	1.58	4.76	4.51	10.5	4.52

Table 2.7 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	13.4	2.05	2.37	2.84	7.33	5.6	28.3	3.07
Xeon Dual	4.72	1.02	0.99	1.24	3.14	4.4	10.5	3.05

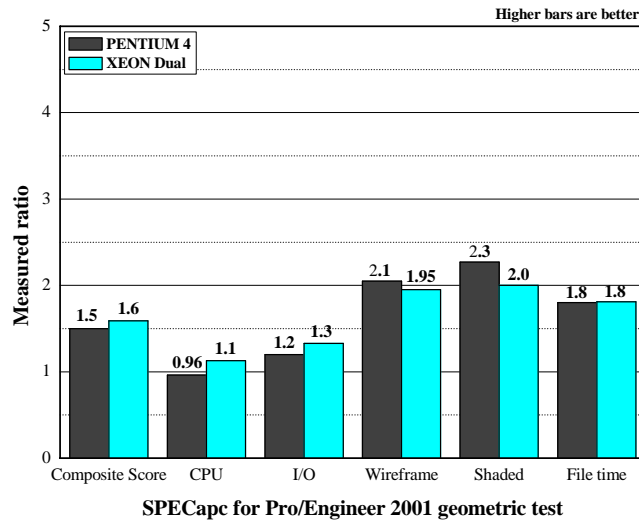
Table 2.8 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	3.5	3.66	2.97	3.05	5.72	7.02	5.18	5.94
Xeon Dual	3.21	3.33	2.67	2.74	5.66	6.91	5.14	5.8

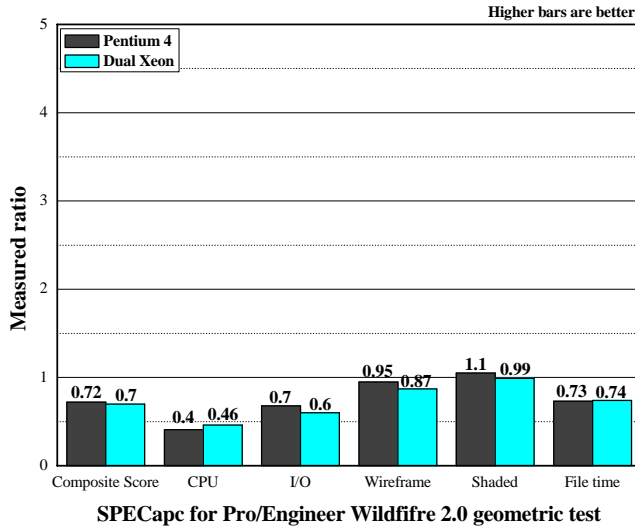
2.2. OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션 성능 분석

Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템을 장착한 싱글 및 듀얼 프로세서 구성에 대하여 SPECapc for Pro/Engineer 2001과 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0을 수행하여, 마이크로프로세서, I/O 서브시스템, 3D 그래픽스 성능으로 구분하여 운용 성능을 평가한다. Figure 2.6은 Pro/Engineer 2001 (a)와 Pro/Engineer Wildfire 2.0 (b)에 대한 운용 성능에 대한 결과를 나타낸다.

마이크로프로세서 구성이 3D CAD 어플리케이션 성능에 미치는 영향은 SPECViewperf 8.1의 OpenGL 3D-API 성능 차이와 달리 듀얼 프로세서 구성이 근소하게 앞선 결과를 보여 주고 있다. 각 평가 부분에서 마이크로프로세서의 성능은 두 어플리케이션에서 모두 듀얼 프로세서 구성이 앞서고 있지만, 3D 그래픽스 성능에서는 싱글 프로세서 구성이 앞서고 있다. 이러한 결과는 그래픽스 서브시스템의 종류에 상관없이 같은 경향을 보인다. 그러나 SPECapc for Pro/Engineer 2001의 경우는 기준 시스템과 하드웨어 사양에서 본 연구의 시스템이 우위를 점하고 있음에도 그 차이를 성능에 반영하지 못하고 있는 것은 다른 요소에 의해 전체 성능이 영향을 받고 있음을 생각할 수 있다. 즉, 전체 시스템에 큰 영향이 미치는 다른 요소들에 의해 3D 그래픽스 성능이 영향을 받는 것을 알 수 있다. 단, SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0의 경우 상대적으로 요구되는 주기억장치의 용량이 높기 때문에 두 마이크로프로세서 구성에의 결과는 기준보다 현저히 낮은 값을 보여준다.



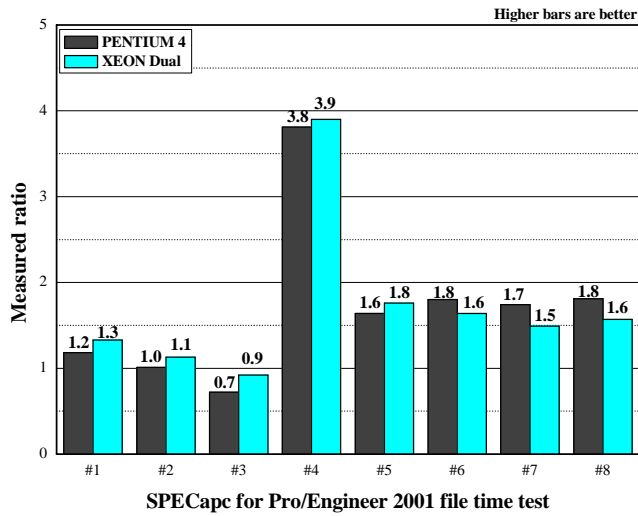
(a) SPECapc for Pro/Engineer 2001



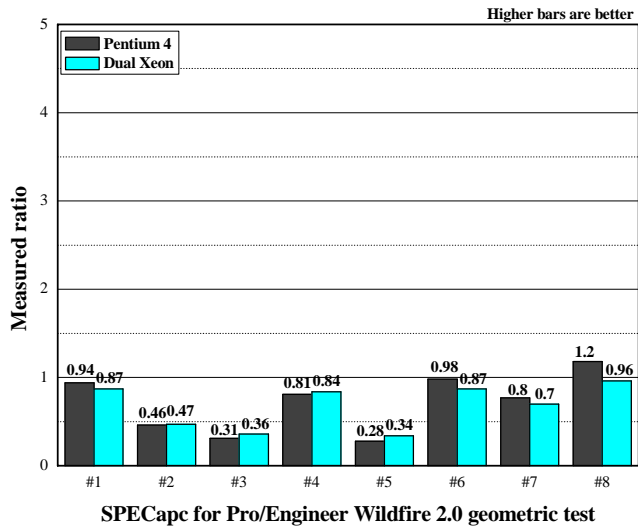
(b) SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0

Figure 2.6 Geometric test ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

Figure 2.7의 Pro/Engineer 2001 (a)와 Wildfire 2.0 (b)에 대한 SPECapc의 세부 측정의 마이크로프로세서 사용량 결과에서 #1~#5는 듀얼 프로세서의 성능이 앞서고 있는데, 대형 파트 로딩 및 어셈블리 과정의 입출력 부하가 크기 때문이다. 즉 상대적으로 프로세서 사용에 여유가 있는 듀얼 시스템의 SCSI 인터페이스에 비해 싱글 시스템이 입출력에 소비하는 시간이 큰 것을 알 수 있다. 입출력 과정이 상대적으로 적은 #6~#8는 오히려 싱글 프로세서의 능력이 앞서고 있다. 이러한 사실은 Figure 2.8에서 듀얼 프로세서 환경에서 두 SPECapc 프로그램의 마이크로프로세서 사용 비율이 50% 기준 이상에서 급상승한 영역이 발생하는 것으로 확인할 수 있다. 마이크로프로세서 간의 전체 구동 시간은 성능 평가를 위해 데이터 입출력에 요구되는 시간에 의해 차이가 나며, 이것은 이후 I/O 서브시스템에서 따로 다루었다.

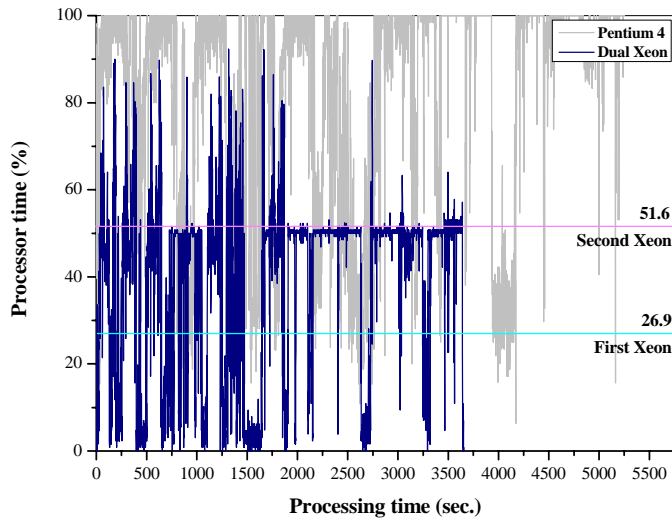


(a) SPECapc for Pro/Engineer 2001

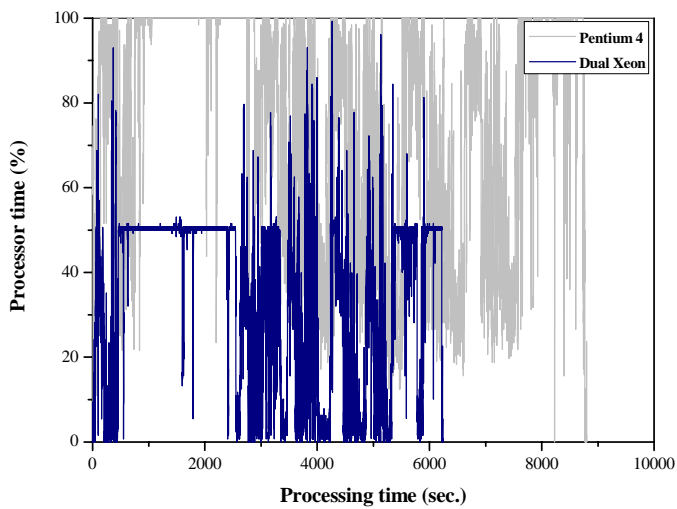


(b) SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0

Figure 2.7 Geometric test ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor



(a) SPECapc for Pro/Engineer 2001



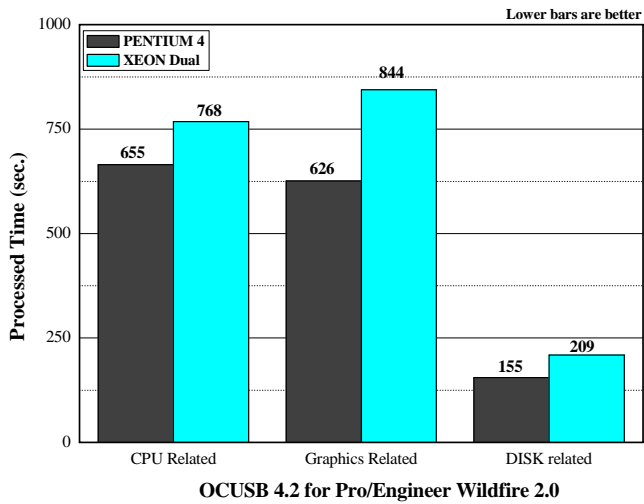
(b) SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0

Figure 2.8 Processor times of Pentium 4 and dual Xeon processor in SPECapc for Pro/Engineer 2001 and Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL

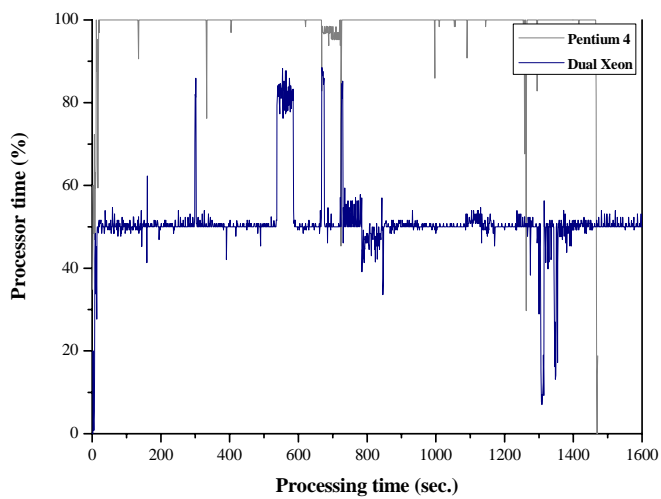
이상의 결과에서 실제 3D CAD 어플리케이션의 운용에서 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 구성 간의 성능을 확인할 수 있다. 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 성

능과 입출력 인터페이스의 성능에 따라 각 평가 부문에서의 차이는 존재하지만, 전체적인 성능에서 싱글 프로세서 환경은 듀얼 프로세서 구성에 비해 동일한 성능을 가지고 있다. 때문에 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서의 가격을 고려한다면 3D CAD 어플리케이션 구동을 위한 워크스테이션 환경에서 멀티 프로세서 기반으로 집중 투자는 비효율적이라 할 수 있다.

SPECapc는 생산 현장의 대형 데이터 파일을 사용하기 때문에 입출력 부하가 크다는 점에서 일반적으로 Pro/Engineer 성능 평가를 위해 시스템 부하가 적은 OCUSB 4.2를 많이 사용하기 때문에, 본 논문에서도 SPECapc와의 비교를 위해 동일한 환경에서 수행하였다. Figure 2.9의 Pro/Engineer Wildfire 2.0 (b)에 대한 OCUS 4.2 성능 평가의 결과는 싱글 프로세서 환경이 듀얼 프로세서에 비해 상대적으로 파일 입출력 부하가 작업에서 더 빠른 처리 시간을 가지는 것을 보여준다. 또한 마이크로프로세서 사용 비율(b)에서는 I/O 부하가 적은 관계로 훨씬 빠른 수행 시간을 보여주고 있다. 결과적으로 일반적인 3D CAD 어플리케이션 환경에서는 싱글 프로세서 환경이 듀얼 프로세서에 비해 높은 제품 경쟁력을 가질 수 있는 것을 알 수 있다.



(a) Processing time



(b) Processor time

Figure 2.9 Processing and processor time of Pentium 4 and dual Xeon processor in OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL

듀얼 프로세서의 경우는 3D 그래픽스 기능 이외에 대규모 파일 처리나 네트워크 서비스를 제공 기능이 주요한 시스템에서는 상대적으로 우위에 있을 수 있다. 즉, 이상의 결과에서 마이크로프로세서 구성에서 있어 I/O 부하는 전체 3D CAD 어플리케이션의 수행 시간에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

SPECapc for UGS NX3는 2GB 이상의 주기억장치 용량을 요구하는 평가 과정을 수행하기 때문에 Unigraphics NX3를 이용한 마이크로프로세서 성능 평가는 4 장의 주기억장치 성능 평가에 대한 내용에서 다룬다.

2.3. 마이크로프로세서 성능에 따른 3D 그래픽스 성능 변화

앞 절의 결과를 마이크로프로세서 속도 차이에 의한 성능 변화에 적용하여 그 경향을 분석하였다. 2.4GHz 속도의 마이크로프로세서에 대한 1.5GHz 속도의 마이크로프로세서에서의 OpenGL 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션 성능을 비교한 결과는 Figure 2.10 ~ 2.13에 나타내었다. OpenGL 3D-API 가속 성능을 나타낸 Figure 2.10의 SPECViewperf 8.1에 비하여 Figure 2.9의 SPECapc for Pro/Engineer 2001과 Figure 2.12의 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0의 3D 그래픽스 성능은 현저한 차이를 보여주고 있다. Figure 2.13의 OCUSB 4.2에서도 같은 경향을 보인다.

그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 성능은 마이크로프로세서 속도 차이에 대하여 큰 성능 향상이 없지만, 상대적으로 3D CAD 어플리케이션 운용 성능에서 그 격차가 더 큰 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 차이는 파일 처리 시간에 기인하므로 실제 3D CAD 어플리케이션에서의 파일 입출력 요구가 큰 경우에는 I/O 서브시스템의 성능을 향상시키는 효과가 있다. 그러나 워크스테이션의 구성에 의해 마이크로프로세서의 물리적인 성능 개선은 한계가 있으며, 높은 성능의 마이크로프로세서는 발열문제를 야기시키기도 한다. 결과적으로 마이크로프로세서의 속도 차이는 그래픽스 서브시스템의 성능 차이에 비해 워크스테이션의 생산성을 결정하는 주요한 요소로 볼 수 있지만, OpenGL 가속 성능에서는 상대적으로 효과가 낮다. 마이크로프로세서 속도 차이에 대한 그래픽스 서브시스템 성능과 주기억장치의 용량의 영향은 다음 장에서 상세히 다룬다.

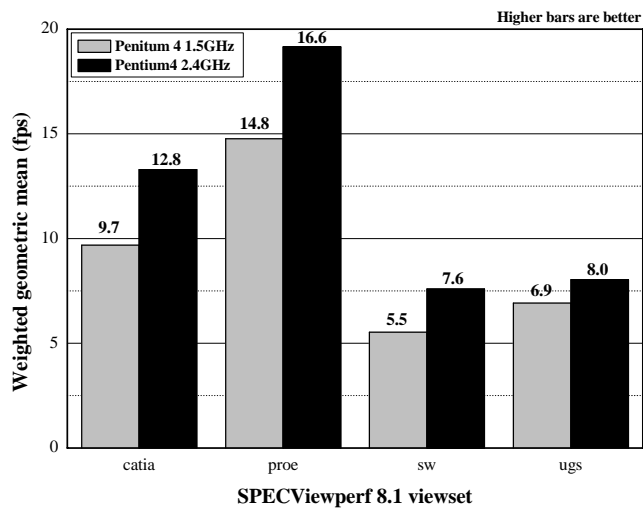


Figure 2.10 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds

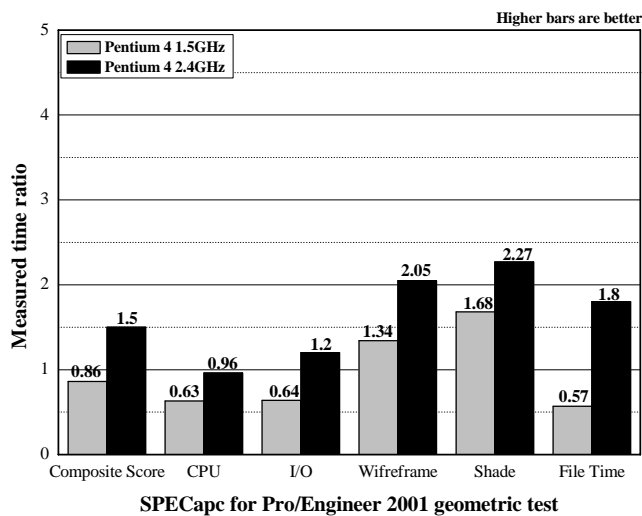


Figure 2.11 SPECcap for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds

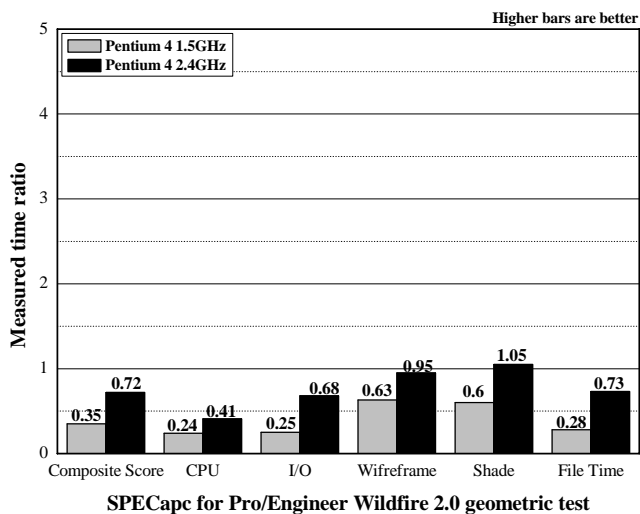


Figure 2.12 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds

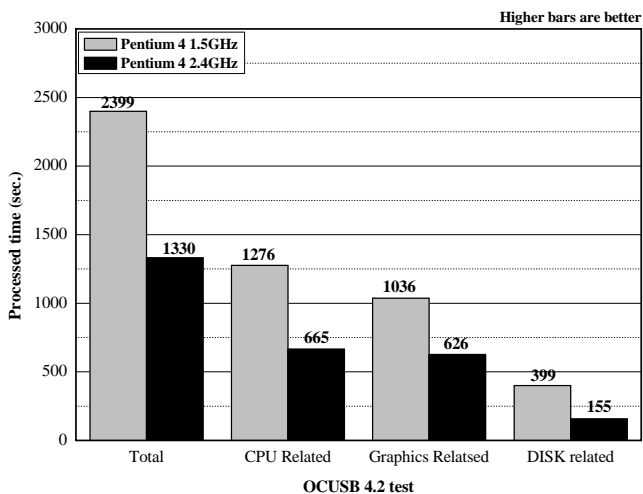


Figure 2.13 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL on single processor with different speeds

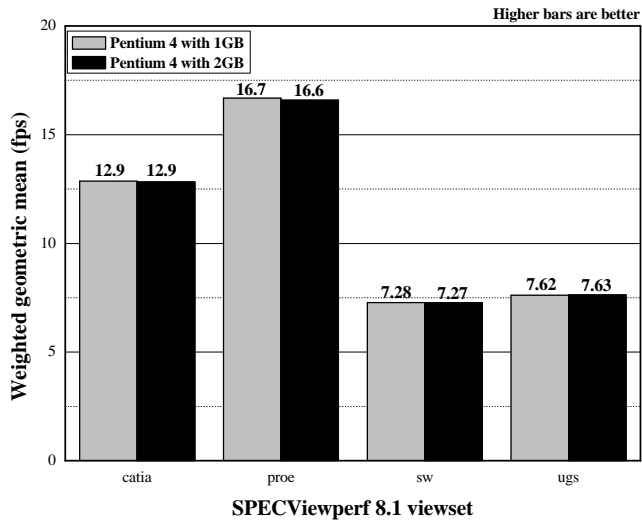
3. 기억장치 용량 변화에 따른 3D 그래픽스 성능 변화

3.1. 마이크로프로세서와 주기억장치 구성에 따른 성능 변화

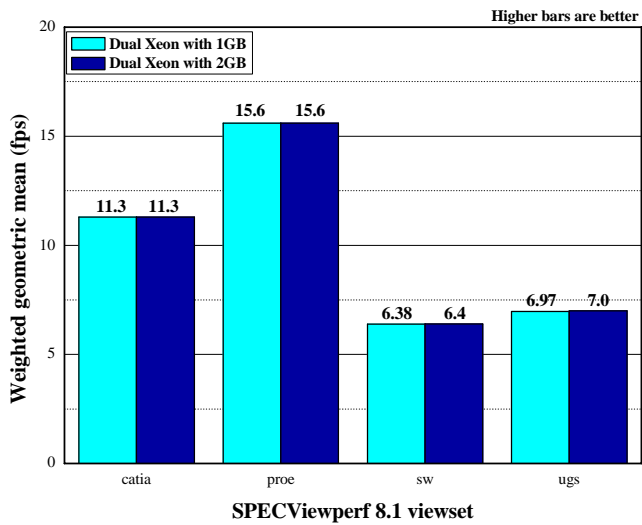
3D CAD 어플리케이션이 주요 생산 현장에서의 운용이 급증하면서 또한 모델링 데이터의 크기도 급속히 증가하고 있기 때문에 필요한 주기억장치 용량도 계속 증가하고 있다. 일반적으로 주기억장치의 용량은 클수록 좋다는 사실에도 불구하고 다른 시스템 요소에 비해 높은 가격을 유지하고 있기 때문에 불필요한 주기억장치 용량의 확대는 워크스테이션 도입에 있어 또 다른 비용 문제를 초래한다. 본 논문에서는 OpenGL 3D-API 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션 성능 운용에서 주기억장치 용량 증감에 따른 마이크로프로세서를 비롯한 시스템 요소와 3D 그래픽스 성능 변화를 분석하여 표준 워크스테이션 구성에서 효율적인 주기억장치 운용 방안을 제시한다.

주기억장치의 일반적인 제어 요소는 물리적인 용량을 조절하는 것과 운영체제에서 사용되는 가상기억장치 공간을 조절하는 방법이다. 물리적인 주기억장치 용량의 증가는 높은 비용 발생을 초래하지만 시스템에 효율적인 작업 공간을 제공하므로써 성능 향상에 크게 기여한다. 이에 반해 가상기억장치 공간의 증가는 비용의 부담이 없지만 시스템의 입출력 부하를 높일 수 있기 때문에, 운용하는 어플리케이션에 따라 큰 효과가 없거나 오히려 비효율적인 환경을 만들게 된다. 하지만 주기억장치와 가상기억장치 용량은 모두 마이크로프로세서와 운영체제에 의해 확장 한계가 제한된다.

본 논문에서는 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 시스템에서 주기억장치의 증가에 따른 3D 그래픽스 성능의 변화를 분석하였다. Figure 3.1은 주기억용량 1GB (a)와 2GB (b) 상태에서의 SPECViewperf 8.1에 의한 OpenGL 3D-API 가속 성능을 측정한 결과이다. 결과에서 주기억장치 용량 차이에도 불구하고 성능은 변화가 없다. 이것은 SPECViewperf 8.1은 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 성능을 측정하기 때문에 기본적인 시스템 운용에 크게 무리가 없는 상황에서 주기억장치 용량의 증가는 그래픽스 서브시스템 성능에 큰 영향이 없다는 보여준다.



(a) On Pentium 4



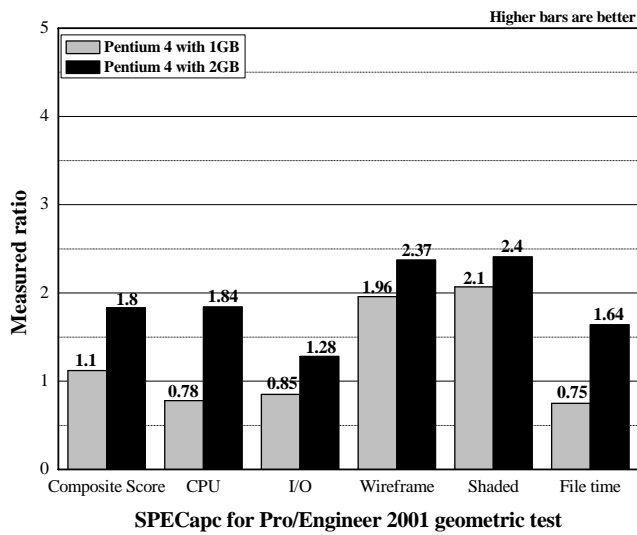
(b) On dual Xeon

Figure 3.1 SPECViewperf 8.1 in two memory configurations on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL

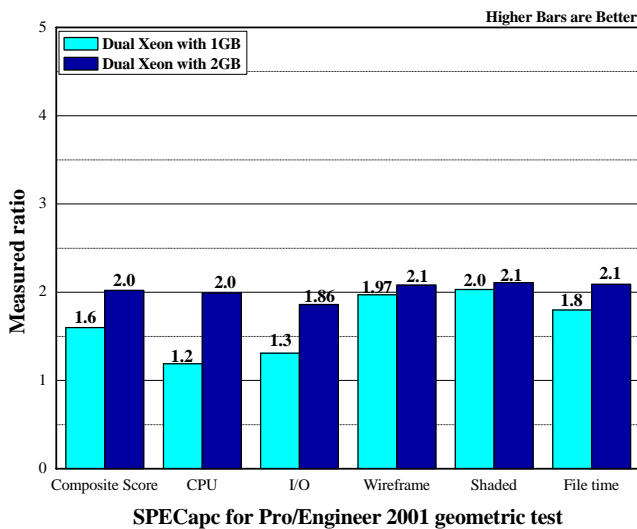
그래픽스 서브시스템의 OpenGL 가속 성능과 달리 다양한 시스템 요소들의 영향을

받게 되는 3D CAD 어플리케이션의 경우는 주기억장치 용량 증가에 따른 성능 개선을 기대할 수 있다. 특히 CAD 어플리케이션이 다루는 모델 데이터의 크기가 증가할수록 그 영향은 더욱 증가하게 된다.

Figure 3.2와 3.3은 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 환경에서 Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템을 사용하여 주기억장치 용량의 1GB와 2GB으로 구분하여 SPECapc for Pro/Engineer 2001과 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0를 수행한 결과이다. Pro/Engineer 2001의 경우 Pro/Engineer Wildfire 2.0에 비해 요구되는 시스템 자원이 낮기 때문에 해당 SPECapc의 결과의 폭은 주기억장치 용량에 비해 결과의 폭이 크다. 이에 반해 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 경우 주기억장치 용량의 기본 요구량이 크기 때문에 주기억장치 용량 증가에 따른 성능 향상의 폭이 훨씬 적다.

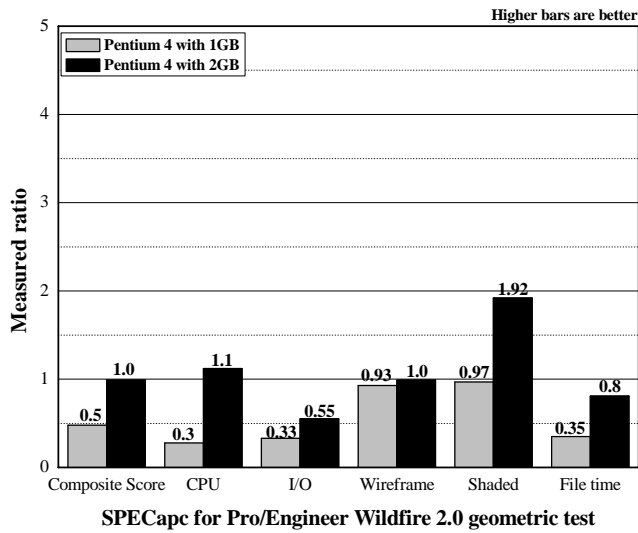


(a) On Pentium 4

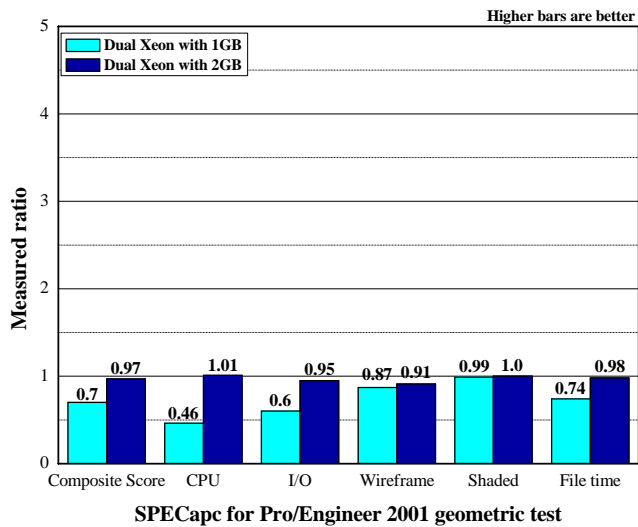


(b) On dual Xeon

Figure 3.2 SPECap for Pro/Engineer 2001 in two memory configurations on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL



(a) On Pentium 4

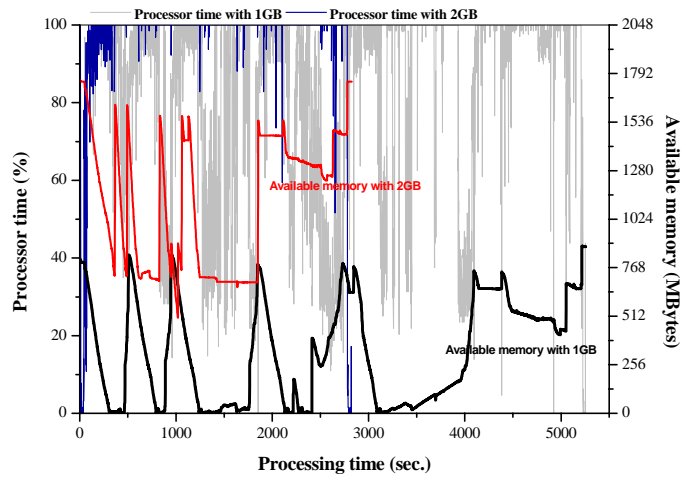


(b) On dual Xeon

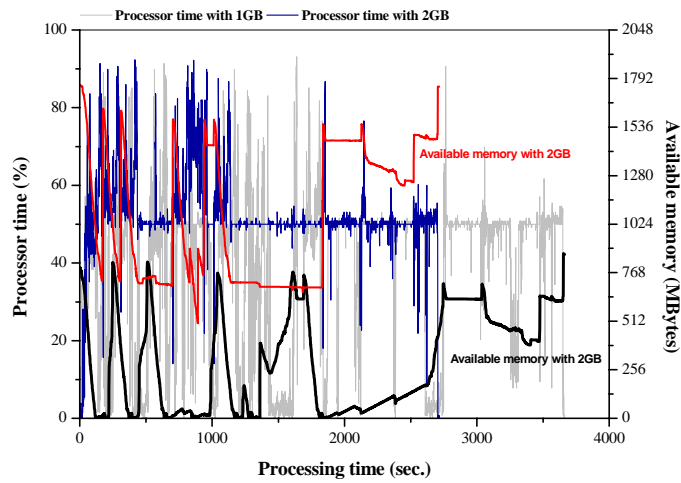
Figure 3.3 SPECap for Pro/Engineer Wildfire 2.0 in two memory configurations on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL

각 SPECapc의 결과에서 주기억장치 용량의 증가는 모든 평가 항목에서의 성능 향상으로 이어진다. 특히 싱글 프로세서에서는 3D 그래픽스 성능의 개선이 상대적으로 크다. 이러한 사실은 주기억장치 용량의 증가는 마이크로프로세서의 부하를 낮추어 실제 어플리케이션 성능의 향상으로 이어진다는 것을 보여준다. Figure 3.4는 Pro/Engineer 2001의 결과를, Figure 3.5는 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 결과를 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 환경에서 주기억장치 용량의 변화에 따른 성능을 나타낸다.

모든 결과에서 마이크로프로세서의 사용률이 최고인 곳에서 가용 주기억장치 용량은 최저가 되지만, 2GB 용량으로 증가된 처리 시간에서 월등한 향상이 있었고, 주기억장치 용량의 증가는 싱글 프로세서에 그 영향이 더 큰 것을 알 수 있다. 싱글 프로세서 (a) 와 듀얼 프로세서 (b) 비교에서, 1GB의 경우 듀얼 프로세서가 싱글 프로세서에 비해 60% 이상 빠른 처리 시간을 보였지만, 2GB의 경우 싱글 프로세서의 처리 시간은 듀얼 프로세서와 거의 동일하게 향상되었다.

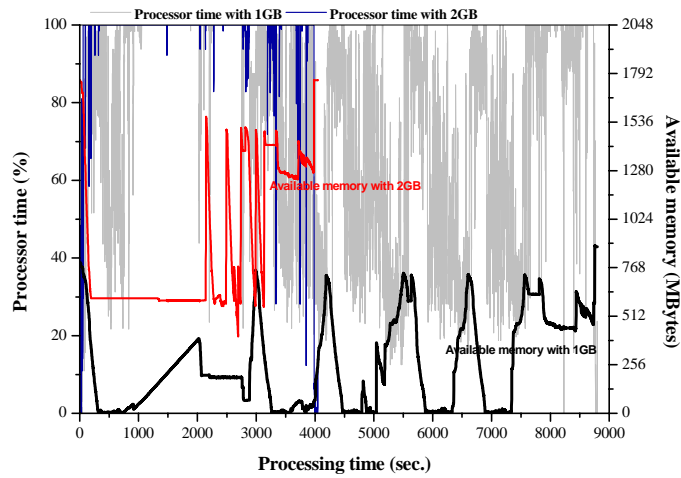


(a) On Pentium 4

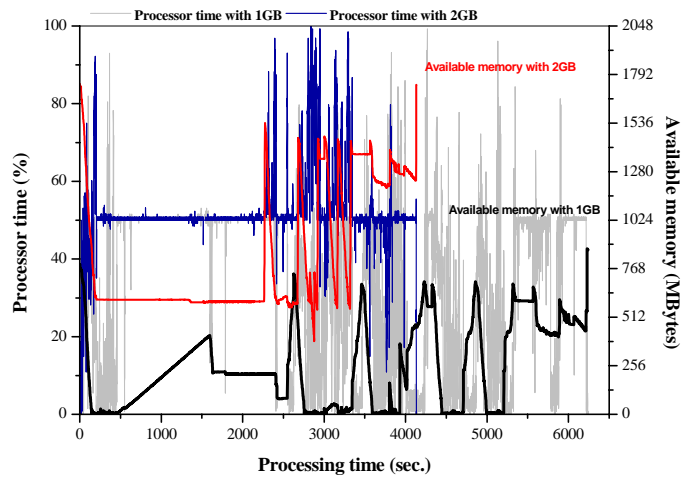


(b) On dual Xeon

Figure 3.4 Processor times and available memories of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB vs. 2GB



(a) On Pentium 4

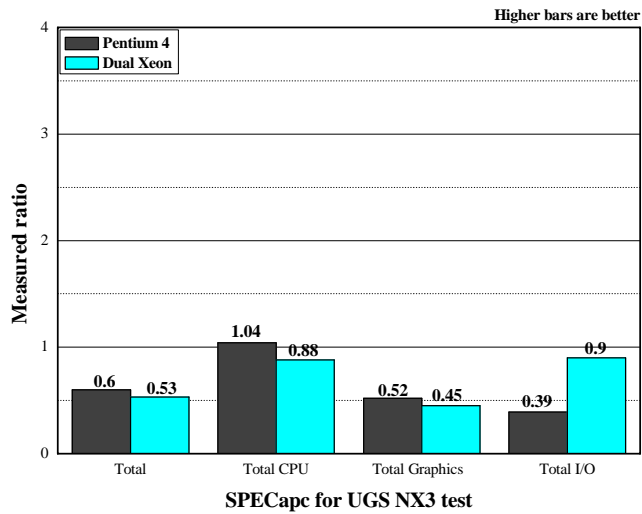


(b) On dual Xeon

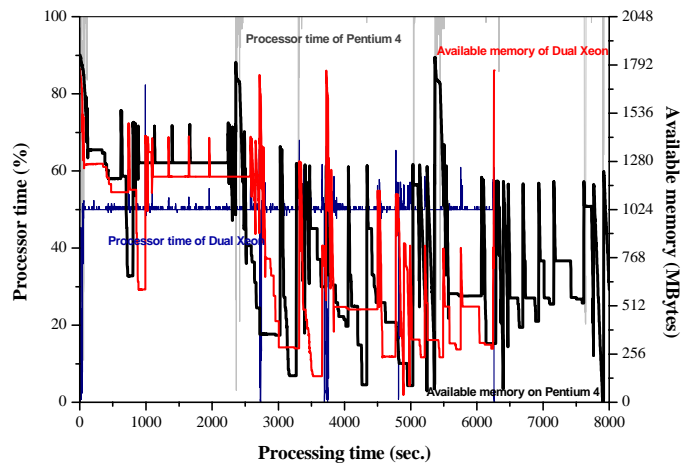
Figure 3.5 Processor times and available memories of SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB vs. 2GB

Figure 3.6은 주기억장치 용량 2GB 환경에서의 Quadro4 750XGL의 SPECapc for UGS NX3를 이용한 Unigraphics운용 성능과 프로세서 사용 비율 비교에서, 마이크로프로세서의 구성에 대한 성능은 Pro/Engineer를 이용한 평가의 결과와 유사한 것을 알 수 있다. SPECapc for Pro/Engineer 2001이나 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0의 성능 평가에 비해 데이터 파일이 크지만 SPECapc for UGS NX3에서는 앞서 1GB 환경의 Pro/Engineer 평가와 같은 결과를 보여 주고 있다.

이상의 성능 평가에서 충분한 주기억장치 공간이 확보는 I/O 성능의 성능 형상을 지원하게 되어 시스템의 전체 성능을 향상시키게 됨을 확인하였다. 주기억장치 용량의 증가와 I/O 기능의 성능 개선이 동시에 만족된다면 워크스테이션의 3D CAD 어플리케이션 운용 성능을 급상승시킬 수 있다.



(a) Measured ratio



(b) Processor time and available memories

Figure 3.6 Measured ratio, processor times and available memories of SPECapc for UGS NX3 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 2GB

3.2. 보조기억장치 운용에 따른 3D 그래픽스 성능 변화

3D CAD 어플리케이션의 데이터가 입출력 되는 보조기억장치는 일반적으로 워크스테이션 구성에서 성능 개선에 대한 우선 순위가 상대적으로 낮게 평가되고 있다. 이것은 일반적으로 동일한 하드웨어 사양의 워크스테이션에서 보조기억장치는 같은 성능을 유지한다고 생각하기 때문이다. 그러나 워크스테이션에서 운용 시간에 따른 성능의 저하 혹은 환경에 따른 성능의 비지속성이 가장 높은 부분이 보조 기억장치 부분이다. 워크스테이션의 모든 성능 평가에는 I/O 과정에 대한 부하를 초래하기 때문에, 실제 3D CAD 어플리케이션 운용에 있어서도 대형 모델링 데이터 혹은 기억장치 확장을 위한 가상 기억장치 접근 등으로 인한 시스템 성능 저하는 I/O 서브시스템에 크게 기인할 수 있다. 그러므로 주기억장치 용량의 확장과 함께 보조기억장치의 I/O 서브시스템 성능 개선은 3D CAD 작업이 대형화될수록 효율이 크다.

보조기억장치를 포함한 I/O 서브시스템 성능 유지는 문제는 제어 과정이 운영체제에 의존한다는 것이다. 현재의 멀티 태스킹 운영체제는 항상 보조 기억장치에 대한 입출력 접근이 이뤄지고 있기 때문에, 성능 평가가 수행되는 시점에 예기치 않은 시스템 부하를 발생시킬 수 있다. 보조기억장치의 I/O 서브시스템은 물리적인 인터페이스 개선을 통하여 완전히 대체되는 방법이 가장 일반적이지만, 본 논문에서 주기억장치를 지원하는 가상 기억장치의 성능 개선이라는 면에서 개선 방법을 선택하였다.

3.2.1. I/O 서브시스템 변화에 따른 성능 개선

Figure 3.7은 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0을 통한 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 각 성능 평가에서 I/O 기능을 최적화 상태 전후의 결과를 보여 준다. 결과에서 I/O 서브시스템의 개선은 워크스테이션 환경에서 15%의 전체 3D CAD 어플리케이션 운용 효율을 제공하는 것을 확인할 수 있다. 즉 I/O 시스템의 개선 혹은 저하 방지는 지속적인 시스템 운용을 보장하는 것은 워크스테이션에 있어 항상 최고 성능을 유지하기 위해 반드시 필요한 사항임을 알 수 있다.

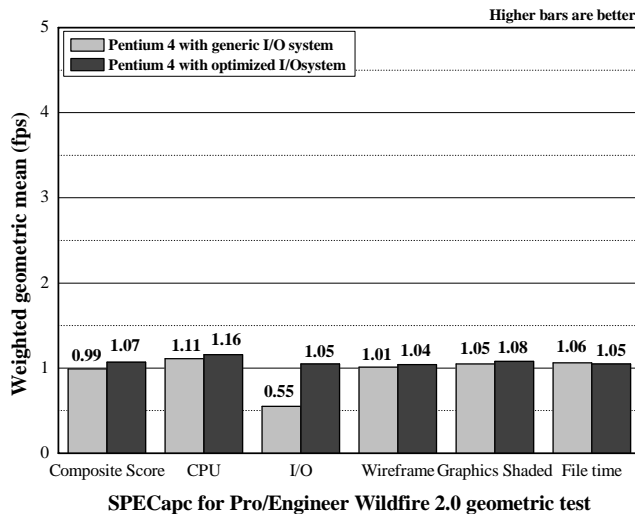


Figure 3.7 SPECint_rate for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL in two I/O subsystem configurations of the generic and optimized on Pentium 4 processor

워크스테이션에서의 I/O 시스템의 성능 저하를 유발하는 일반적인 원인은 마이크로소프트 윈도우즈 NT 워크스테이션 환경에서는 지속적인 어플리케이션 설치 및 삭제 과정이나 대용량 데이터의 운용이라고 할 수 있다. 이러한 상황에서의 I/O 성능 저하를 방지하기 위해서는 워크스테이션의 보조기억장치 분할에 있어 시스템 및 어플리케이션 그리고 가상 기억장치 공간으로 나누고, 3D CAD 어플리케이션의 대형 모델 데이터는 별도의 분할 공간으로 운용하는 것이 바람직하다. 그리고 3D CAD 어플리케이션의 파일 입출력 과정은 보조기억장치의 구조를 상당히 복잡하게 한다. 때문에 일정 기간의 대형 모델링 작업 후에는 보조기억장치에 대한 단편화 작업을 수행해 주는 것이 좋다. 이러한 과정 만으로도 3D CAD 어플리케이션의 운용 효율은 상당히 증가시킬 수 있다.

3.2.2. 가상 기억장치 변화에 따른 3D 그래픽스 성능 변화

3D CAD 어플리케이션의 경우 일반적인 어플리케이션과 달리 많은 주기억장치 용량을 사용하고 부족한 공간은 보조기억장치의 일부를 가상 기억장치를 사용한다. 때문에 보조기억장치의 성능 저하는 어플리케이션 수행 성능 저하를 초래할 수 있다.

가상 기억장치의 한계는 시스템의 하드웨어 및 운영체제에 의해 된다. 32-비트 마이크

로프로세서를 운용하는 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열에서는 가상 기억장치 공간은 최대 4GB이다. Figure 3.8은 주기억장치 단위 용량에서의 가상 기억장치의 변화에 따른 OCUS 4.2를 통한 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 성능 변화를 보여 준다. 주기억장치의 용량이 작은 경우는 가상 기억장치 변화에 전체 성능에 미치는 영향이 상대적으로 큰 것에 비해, 주기억장치의 용량이 충분한 경우에는 가상 기억장치의 변화에 큰 영향을 받지 않는다.

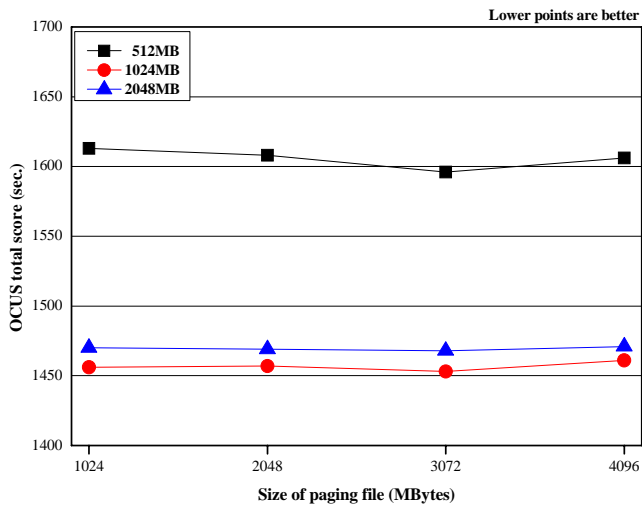


Figure 3.8 OCUS 4.2 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with three virtual memory configurations of 512M, 1GB and 2GB

4. 그래픽스 서브시스템에 따른 OpenGL 가속 성능 변화

본 연구에서는 OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션 운용에 있어 OpenGL 가속기 역할을 담당하는 그래픽스 서브시스템의 성능 변화가 실제 운용 성능에 미치는 영향을 분석하였다. OpenGL이 공개된 이후 그래픽스 서브시스템은 워크스테이션에 종속된 구성 요소에서 벗어나 독자적인 하드웨어 시스템으로 발전했다. 그리고 OpenGL 스펙의 발전과 함께 이를 하드웨어적으로 지원하는 그래픽스 서브시스템도 함께 진화하여, OpenGL 가속을 위한 고성능 3D 그래픽스 서브시스템은 이미 워크스테이션의 성능과 가격을 결정하는 또 다른 요인으로 되어 있다.

하지만 호스트 시스템과 별도의 서브시스템으로 분리됨에 따라 OpenGL을 이용한 그래픽스 어플리케이션 개발자들은 특정 그래픽스 서브시스템의 성능을 지원하는 기능을 포함시키는 것이 매우 어렵다. 그래픽스 서브시스템도 OpenGL 가속과 3D CAD 어플리케이션 호환성 유지를 위한 다양한 기능을 제공하지만^[29], 실제 어플리케이션의 성능 개선 효율에 정보를 공개하지 않고 있다.

Table 4.1과 같이 FireGL2와 Quadro2 MX/EXR, Quadro4 750XGL 그리고 QuadroFX 1100의 그래픽스 서브시스템을 사용하여 그래픽스 서브시스템의 성능에 따른 OpenGL 3D-API 가속과 3D CAD 어플리케이션의 성능 변화를 분석하였다. 그리고 그래픽스 서브시스템이 제공하는 주요 OpenGL 성능 관련 설정에 의해 실제 3D CAD 어플리케이션에 미치는 영향을 분석하여 어플리케이션의 운용 목적에 최적화된 OpenGL 환경을 구성하였다. Figure 4.1과 4.2는 Quadro2와 QuadroFX 그래픽스 서브시스템의 SPECViewperf 8.1 성능 평가 결과를, Table 4.2 ~ 4.9는 각 뷰 세트 결과를 나타낸다.

Table 4.1 Graphics Subsystems for performance test

	DIAMOND/ATI FireGL2	NVIDIA Quadro2 MXR	NVIDIA/ELSA Quadro4 750XGL	NVIDIA QuadroFX 1100
GPU	IBM RC/GT1000	Quadro2 MXR/EX	Quadro4	QuadroFX
Mem.	64MB SGRAM	32MB	128MB DDR	128MB
Bus	AGP 4X	AGP 4X	AGP 4X	AGP 8X
Output	DVI-I or VGA	VGA	DVI-I and VGA	DVI-I and VGA

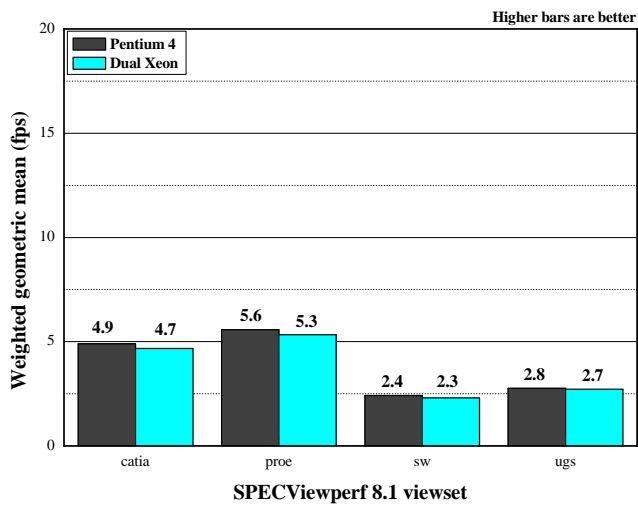


Figure 4.1 SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor

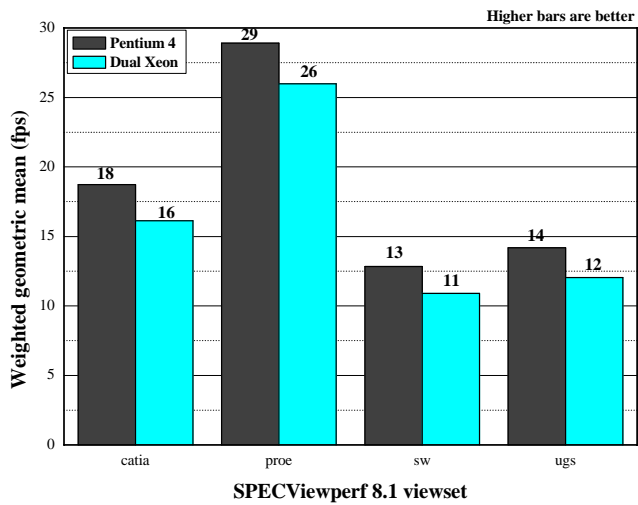


Figure 4.2 SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor

Table 4.2 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pentium 4	9.15	6.55	2.98	3.94	5.72	14.8	6.33	1.5	4.78	3.2	4.41
Xeon Dual	9.1	6.24	2.72	3.49	5.49	14.5	6.34	1.41	4.75	3	4.12

Table 4.3 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7
Pentium 4	4.41	5.11	5.18	10.7	0.78	24.7	10.7
Xeon Dual	4.37	4.58	5.11	10.3	0.63	24.9	10.7

Table 4.4 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	12.5	2.3	1.3	1.45	3.8	2.6	6.6	0.34
Xeon Dual	10.7	2.1	1.3	1.45	3.8	2.5	5.8	0.33

Table 4.5 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by Quadro2 MXR/EX on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	2.88	3.05	2.5	2.64	5.77	6.84	1.12	1.3
Xeon Dual	2.88	3.01	2.45	2.64	5.77	6.89	1.07	1.2

Table 4.6 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pentium 4	31.4	24.9	15.5	18	12.6	31.7	19.9	17.1	13.3	14.1	18.7
Xeon Dual	26.3	20.1	14.2	15.2	10.2	26.1	16.4	15.9	10.6	13	18.4

Table 4.7 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor

	1	2	3	4	5	6	7
Pentium 4	18.7	21.3	16.5	37.5	25	74.5	36.2
Xeon Dual	18.7	18.7	15	28.9	25	74.9	27.8

Table 4.8 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor

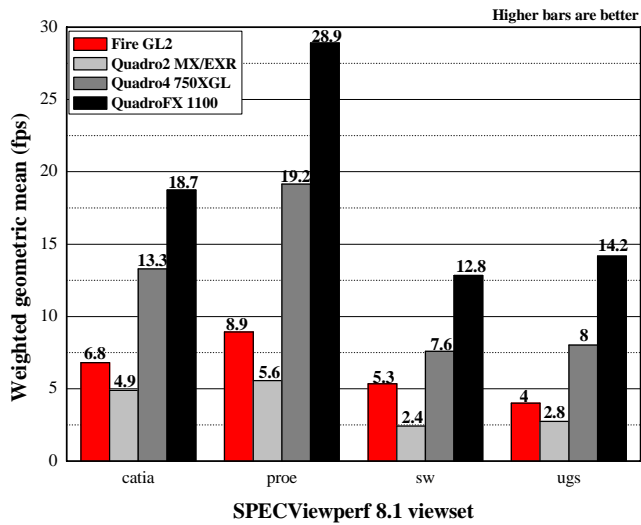
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	24.9	8.33	5.33	5.76	15.4	12.5	40.1	14.9
Xeon Dual	18.1	7.27	5.75	5.75	14.7	12.4	24.8	11

Table 4.9 ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 by QuadroFX 1100 on Pentium 4 and dual Xeon processor

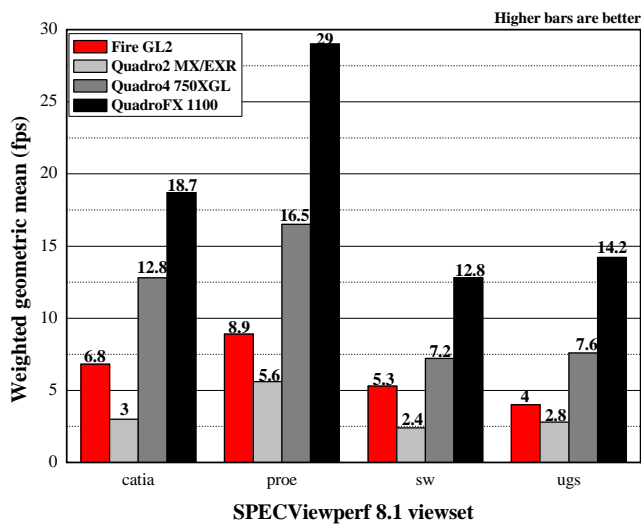
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pentium 4	12.4	14.4	9.37	10.4	25	24.5	18.6	18..3
Xeon Dual	10.7	11.8	7.65	8.35	18.8	20.6	18.8	18.3

4.1. OpenGL 그래픽스 서브시스템에 따른 3D 그래픽스 성능

Figure 4.3과 4.4는 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 환경에서의 FireGL2와 각 Quadro 그래픽스 프로세서 기반 그래픽스 서브시스템에서 주기억장치 용량을 1GB와 2GB으로 설정한 환경에서 SPECViewperf 8.1을 수행한 결과이다. 공개된 하드웨어 스펙의 시간적인 차이에 따라 Quadro4 750XGL과 QuadroFX 1100이 FireGL2나 Quadro2 기반 그래픽스 서브시스템에 비해 높은 OpenGL 가속 성능을 보여주고 있다. FireGL2의 경우, OpenGL 3D-API 스펙 1.1/1.2 수준에 대응하지만 Quador4는 OpenGL 3D-API 스펙 1.5.X에 대응하며 QuadroFX는 스펙 2.X에 대응한다. 이러한 결과는 마이크로프로세서의 구성이나 주기억장치 용량에 상관없이 동일한 경향을 보여주고 있으며, FireGL2가 Quadro4 750XGL이나 QuadroFX 1100에 비해 출시된 지 오래되어 새로운 OpenGL 스펙 지원에 대한 미비로 성능 차이가 발생한다.

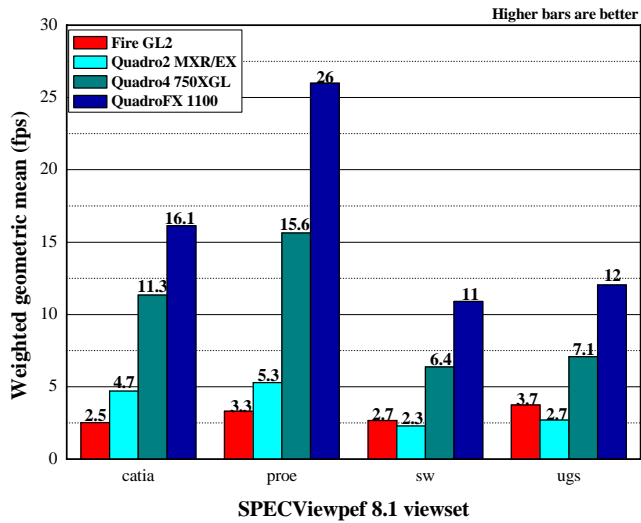


(a) On Pentium 4 with 1GB memories

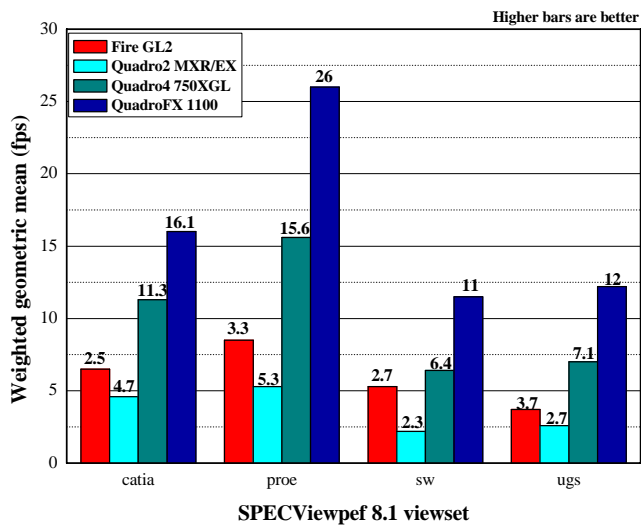


(b) On Pentium 4 with 2GB memories

Figure 4.3 SPECViewperf 8.1 by four graphics subsystems on Pentium 4 processor with 1GB and 2GB memories



(a) On dual Xeon with 1GB memories

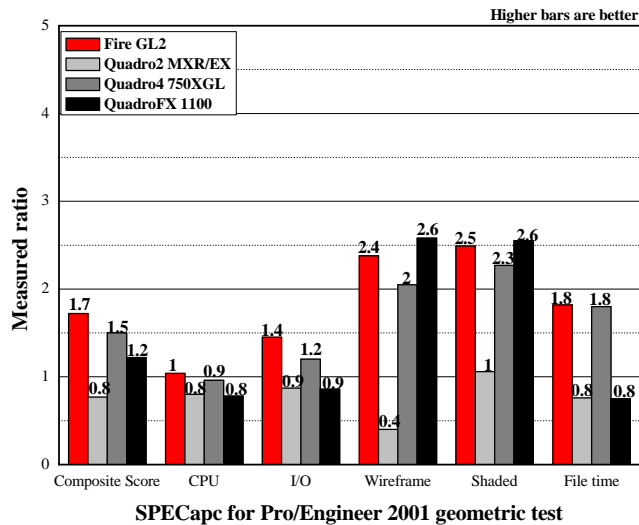


(b) On dual Xeon with 2GB memories

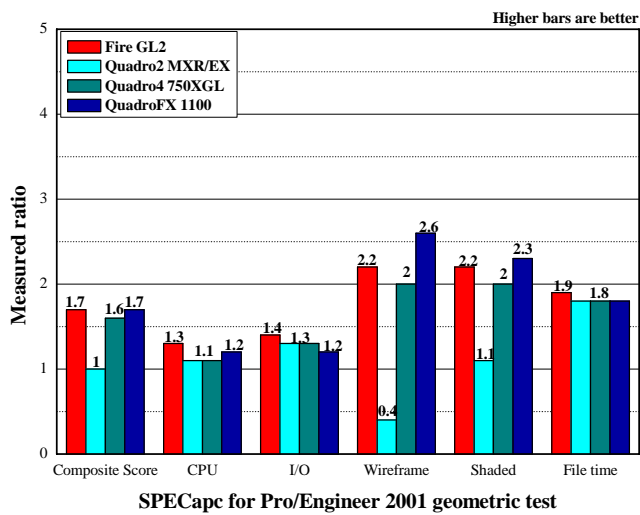
Figure 4.4 SPECViewperf 8.1 by four graphics subsystems on dual Xeon processor with 1GB and 2GB memories

현재 그래픽스 서브시스템 시장에서는 SPECViewperf 8.1 수행에 대한 결과는 OpenGL 가속 그래픽스 서브시스템의 우열을 결정한다. 하지만, 앞서 연구에 미뤄, 그래픽스 서브시스템의 성능이 실제 3D CAD 어플리케이션의 성능 향상에 절대적으로 비례한다고 볼 수는 없다. 본 장에서는 주기억장치 용량을 1GB와 2GB으로 구분한 상황에서 각 그래픽스 서브시스템에 대하여 SPECapc와 OCUS 평가를 통하여 그 영향을 분석하였다.

Figure 4.5와 Figure 4.6의 SPECapc for Pro/Engineer 2001을 이용한 그래픽스 서브시스템의 성능은 SPECViewperf 8.1의 결과와 달리 FireGL2는 주기억장치 용량 변화에 상관없이 Quadro4 750XGL에 비해 앞서고 QuadroFX 1100에 비해서는 다소 뒤지는 성능을 보여준다. 일반적인 FireGL2에 대한 생각에서는 이러한 결과는 상당한 의외이다. 그리고 Figure 4.7과 Figure 4.8의 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0을 이용한 성능 평가에서는 상대적으로 그 차이는 줄었지만 동일한 경향을 보여 주고 있다.

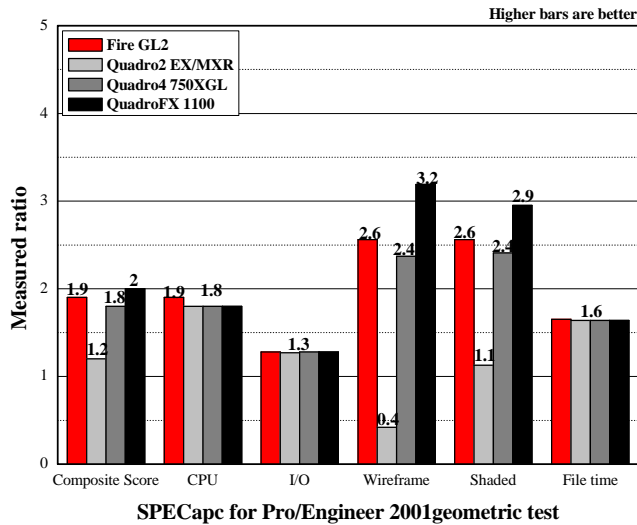


(a) On Pentium 4

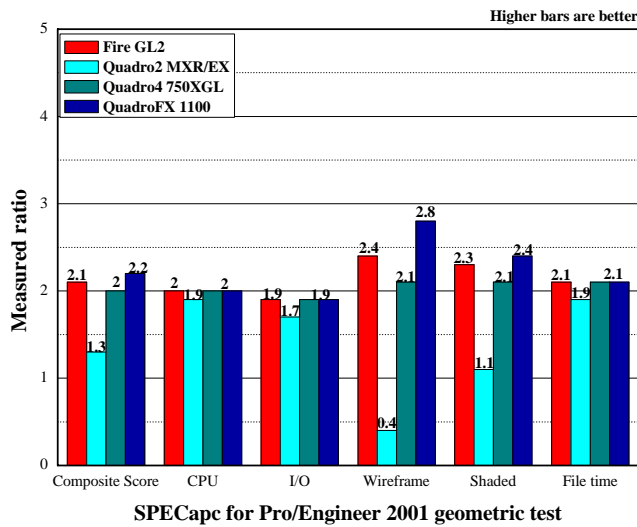


(b) On dual Xeon

Figure 4.5 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by four graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories

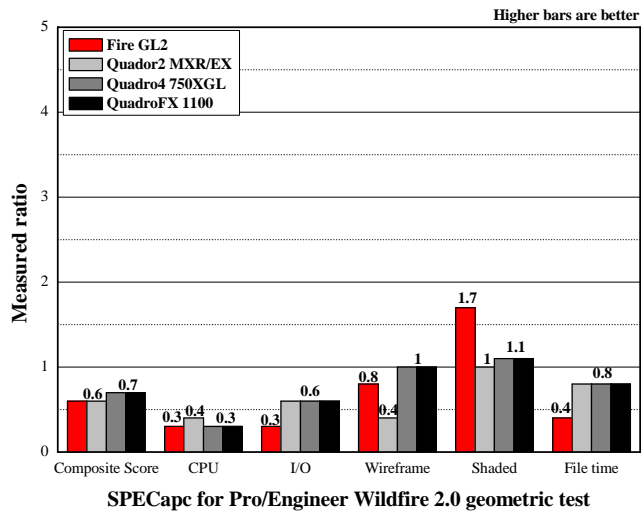


(a) On Pentium 4

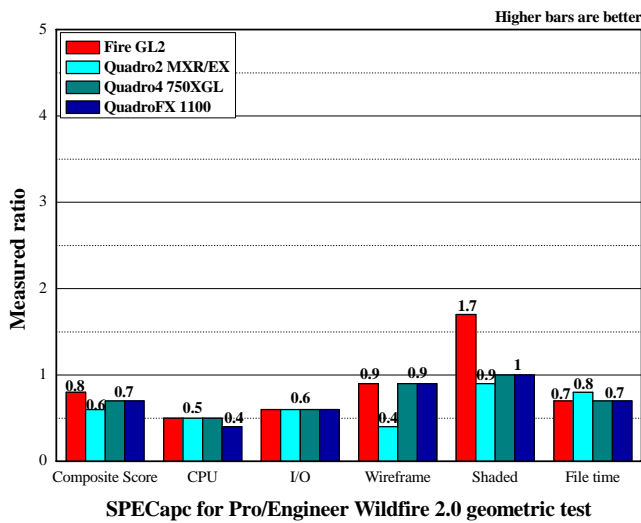


(b) On dual Xeon

Figure 4.6 SPECap for Pro/Engineer 2001 by graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 2GB memories

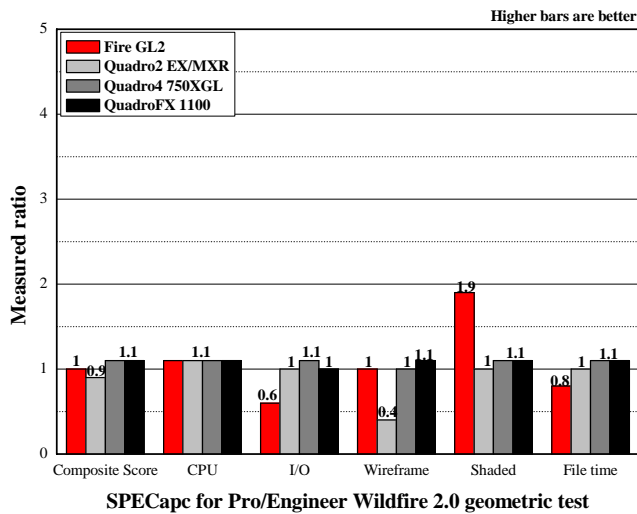


(a) On Pentium 4

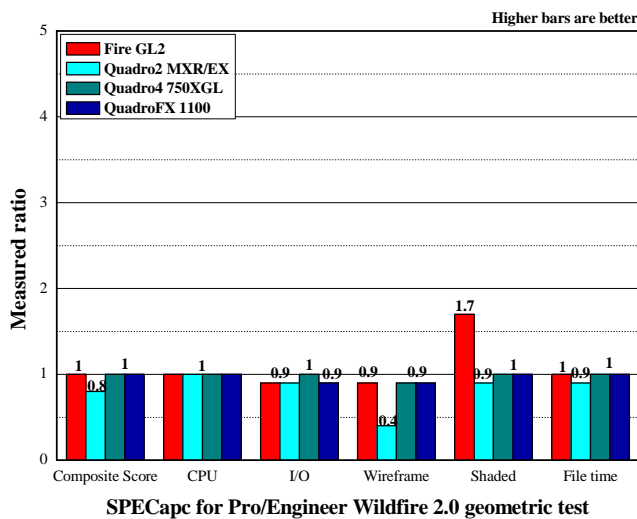


(b) On dual Xeon

Figure 4.7 SPECap for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by four graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories



(a) On Pentium 4



(b) On dual Xeon

Figure 4.8 SPECap for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by four graphics subsystems on Pentium 4 and dual Xeon processor with 2GB memories

결과에서는 OpenGL 3D-API 가속 성능이나 일반적인 예상과 완전히 달리 이미 두 세대 이전 제품으로 평가 받고 있는 FireGL2의 성능이 Quadro4 750XGL이나 QuadroFX1100과 비교하여 동일한 성능이 보이거나 일부 기능에서는 앞서고 있음을 보여준다. 이러한 결과의 원인은 3D 게임이나 특정 환경을 요구하는 DCC 어플리케이션과 달리 3D CAD 어플리케이션에서 사용하는 OpenGL 그래픽스 서브시스템의 가속 성능의 핵심은 OpenGL 스펙 가속에 있기 때문이다. 그러므로 하드웨어적인 OpenGL 확장 스펙의 가속 기능은 3D CAD 어플리케이션 수준에서는 큰 효용성이 없게 된다. 때문에 그래픽스 서브시스템의 정확한 비교 기준이 없는 상태에서의 일반적인 OpenGL 가속 성능에 대한 선택은 3D CAD 어플리케이션의 성능 개선에 큰 효과가 없으며 오히려 성능 저하를 초래할 수 있다.

4.2. OpenGL 3D 성능 요소 분석

X86 계열 마이크로프로세서를 사용하는 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열을 운용하는 워크스테이션에서 Quadro와 Fire GL 그래픽스 프로세서 기반 그래픽스 서브시스템이 제공하는 OpenGL 3D-API 운영 기능 설정을 다음과 같이 분류하고, 각 설정 항목에 대한 성능 변화를 분석하여^[30], 3D CAD 어플리케이션에 적용으로 인한 성능 개선 효과를 보였다.

1) 수직 동기화 및 더블 버퍼링: 수직 동기화 (vertical sync. or vertical retrace)는 디스플레이의 특정 fps에 그래픽스 서브시스템과 모니터를 일치시키는 기능이다. 수직 동기화가 활성화되면, 최대 fps는 지정 해상도에서 모니터의 재생률을 넘을 수 없고 fps는 전체적으로 감소된다. 비활성이 되면 fps는 증가되고 재생률 범위를 넘어 그래픽스 성능이 향상되지만, 렌더링 화면에 티어링 (tearing) 현상이 발생할 수 있다.

더블 버퍼링 (double buffering)은 그래픽스 서브시스템의 프레임 버퍼를 두 개로 나눠 현재 디스플레이 버퍼와 대기 디스플레이 버퍼를 동시에 운용한다. 대기 디스플레이 버퍼와 현재 디스플레이 버퍼 간의 버퍼 스왑 과정을 거쳐 렌더링된 프레임들은 부드러운 애니메이션 효과를 가지게 된다. 그래픽스 서브시스템은 데이터 손실을 방지하고 버퍼 스왑 과정이 수직 동기화되므로 서 티어링 현상을 방지할 수 있다.

2) 고급 마이크로프로세서 명령어 지원: X86 계열 마이크로프로세서의 일부 모델은 3D 그래픽스 성능을 향상시키기 위해 새로운 명령어 세트 (enhanced CPU instruction set)를

지원한다. 하지만 이러한 기능들은 외부적으로 공개되지 않기 때문에 일반적으로 지원 가능한 상태로 유지한다.

3) 텍스처 메모리 설정: 고품질의 컬러 텍스처 이미지 (color texture image)를 가진 모델의 텍스처 맵 처리에는 많은 주기억장치가 할당되어야 한다. 이러한 고품질 텍스처 처리는 DCC 어플리케이션에서는 이미지의 품질과 처리 속도를 증가시키지만 3D CAD 어플리케이션의 모델링에서는 주기억장치 공간의 낭비를 초래하여 성능 저하를 가져온다. 때문에 3D CAD 어플리케이션 운용에서는 텍스처 맵 처리를 위한 설정은 최소 상태로 유지하는 것이 좋다.

4) 안티앨리어싱 감마 수정: 감마 수정 (gamma correction) 기능이 없는 모니터에서 계단 현상을 보이는 직선을 보다 부드러운 라인 (anti-aliased line)의 표현할 수 있도록 한다. 일반적인 감마 수정은 모니터의 하드웨어 컬러 맵이 CRT의 비선형을 보정하거나, 수정되지 않은 스캔 이미지나 음영 이미지의 표현력을 증가시키는 데 사용된다.

5) 초기 Z-테스트 설정: 그래픽스 서브시스템의 Z-버퍼 (Z-buffer)는 프래그먼트 파이프라인 (fragment pipeline)에서 하나의 Z-테스트 단계를 가진다. 이것은 모델이 다른 모델에 의해 가려질 때 셰이딩 면 (shading surface)을 스왑 없이 재 출력하므로써 렌더링 성능을 향상시킬 수 있게 그래픽스 파이프라인에 앞서 Z-테스트를 수행된다. 하지만 3D CAD 어플리케이션과 같이 와이어프레임 렌더링 비율 (wireframe rendering rate)이 높은 경우에는 성능 저하를 초래한다.

6) 동일 백/깊이 버퍼 설정: 그래픽스 서브시스템의 드라이버가 동일 해상도에서 하나의 백-버퍼 (back buffer)와 깊이-버퍼 (depth buffer)를 허용하면 3D 그래픽스 어플리케이션이 비디오 주기억장치를 더욱 효과적으로 사용하여 여러 개의 윈도우를 생성하고 성능도 향상시킬 수 있다. 설정을 정지되면 OpenGL 어플리케이션의 모든 윈도우는 대해 같은 백 버퍼와 깊이 버퍼를 가진다.

7) 최적 OpenGL 텍스처 클램프 설정: 텍스처 좌표를 모서리나 이미지 내에서 구속시켜 최적 품질과 성능에 최적 상태로 유지할 수 있지만 OpenGL 기반 그래픽스 어플리케이션은 텍스처 처리가 현저한 느려지거나 이상한 선들이 나타날 수 있다.

8) 오버레이 설정: 그래픽스 서브시스템 드라이버에서 OpenGL 그래픽스 어플리케이션

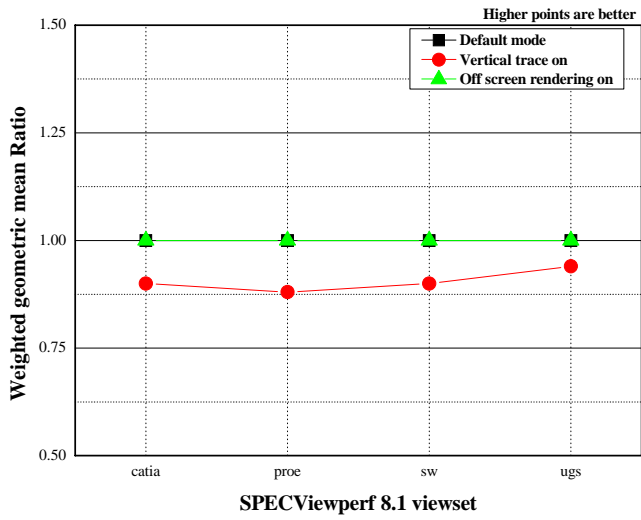
이 오버레이 (overlay)를 사용할 수 있도록 오버레이 픽셀 포맷을 추출하는 것이다. RGB 버퍼에 그려진 곡면을 사용하는 어플리케이션에서는 오버레이 플랜이 필수적이지만, 오버레이 플랜은 추가적인 기억장치를 요구하기 때문에 모든 해상도에서 사용될 수는 없다. 복잡한 OpenGL 화면은 다시 그리기 작업은 많은 시간과 자원이 요구되기 때문에 오버레이를 사용하므로 써, 화면의 팝업 혹은 풀-다운 메뉴의 사용에 의해 복잡한 OpenGL 화면의 재생성을 방지할 수 있다.

9) 버퍼-폴리핑: 전체 윈도우 화면 (full windows screen)의 OpenGL 그래픽스 어플리케이션에서 나타나지 않은 버퍼 이미지를 디스플레이되도록 한다.

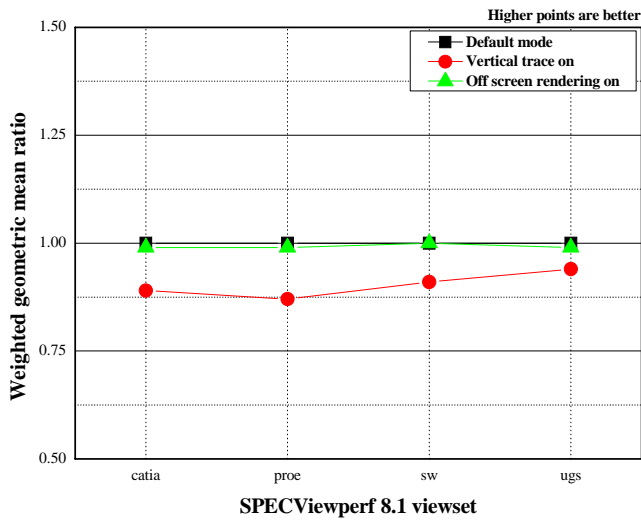
10) 멀티플 컬러맵: OpenGL 3D-API는 여러 픽셀 포맷과 컬러 모델을 지원하기 때문에, OpenGL 그래픽스 서브시스템은 다양한 하드웨어 컬러 맵을 가질 수 있다. 기억장치의 여러 컬러 맵을 사용하는 여러 윈도우를 동시에 컬러 맵 플레싱없이 운용할 수 있지만, 여러 개의 하드웨어 컬러 맵이 있더라도 물리적인 컬러 맵 수를 넘으면 컬러 맵 플레싱이 발생한다.

4.3. 그래픽스 서브시스템 설정에 따른 3D-API 가속 성능 분석

Figure 4.9는 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 환경의 윈도우즈 NT 워크스테이션 기반에서 FireGL2의 그래픽스 서브시스템 제어 요소를 분석한 결과이다. 하지만 FireGL2 그래픽스 서브시스템의 경우는 사용자가 제어할 수 있는 요소는 Vertical Sync. 이외에 설정 사항을 제공하고 않는다. Off Screen Rendering의 경우 윈도우즈 제어 요소로 제공된다. FireGL2 그래픽스 서브시스템의 환경 제어에 따른 SPECViewperf 8.1 결과는 Vertical Sync. 설정 활성화로 약 10~15% 정도의 성능 저하를 보여 주고 있다. Figure 4.10 ~ 4.13은 환경 설정에 따른 SPECViewperf 8.1의 각 뷰세트의 변화를 나타낸다.

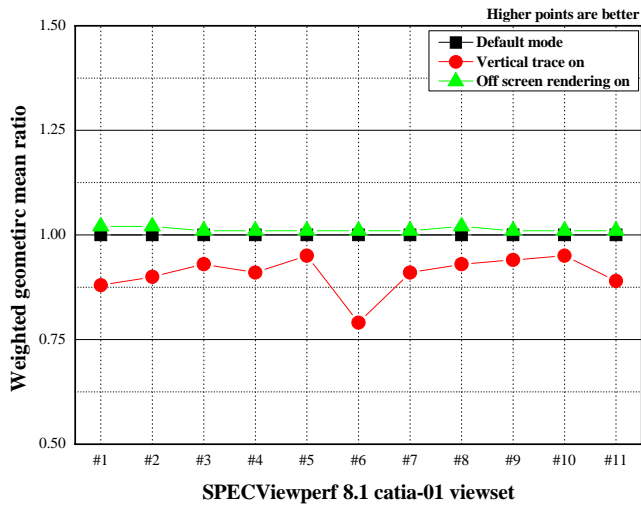


(a) On Pentium 4

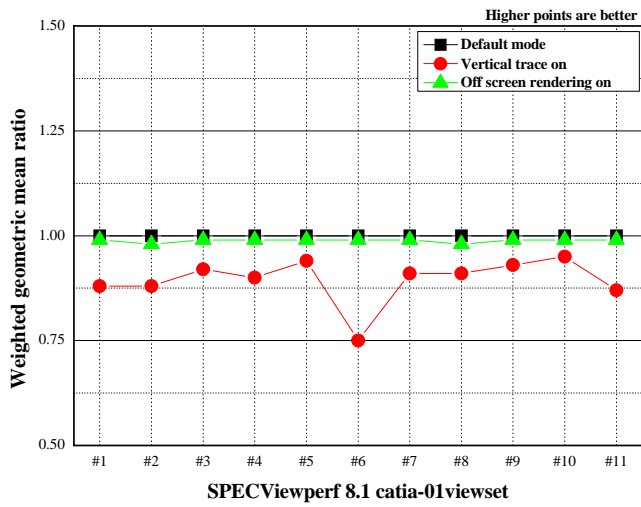


(b) On dual Xeon

Figure 4.9 Weighted geometric mean ratios of SPECViewperf 8.1 by FireGL2 graphics subsystem on Pentium 4 and dual Xeon processor

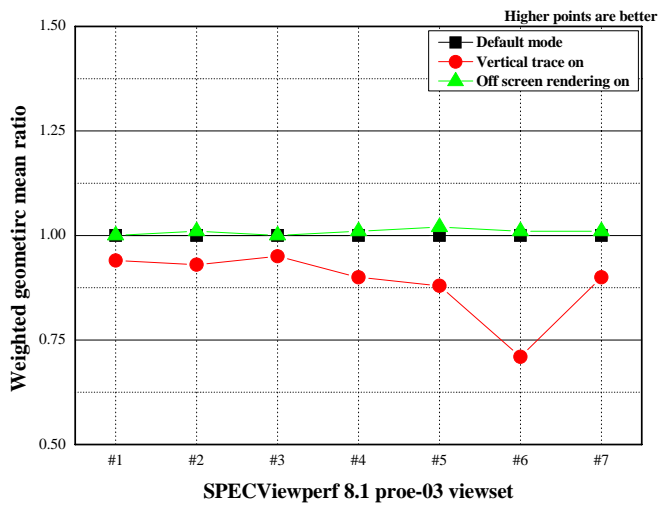


(a) On Pentium 4

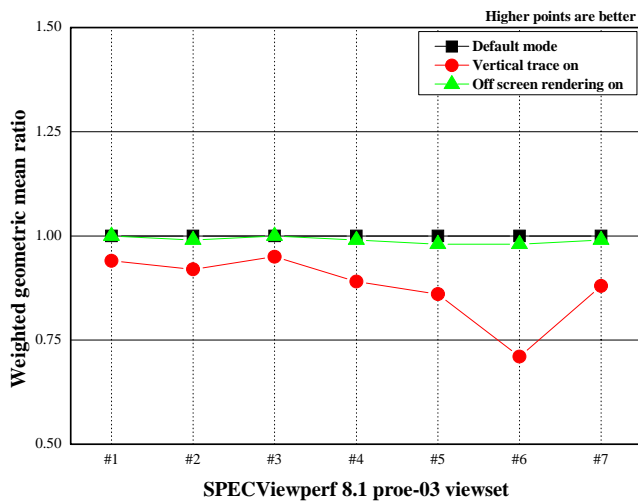


(b) On dual Xeon

Figure 4.10 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2

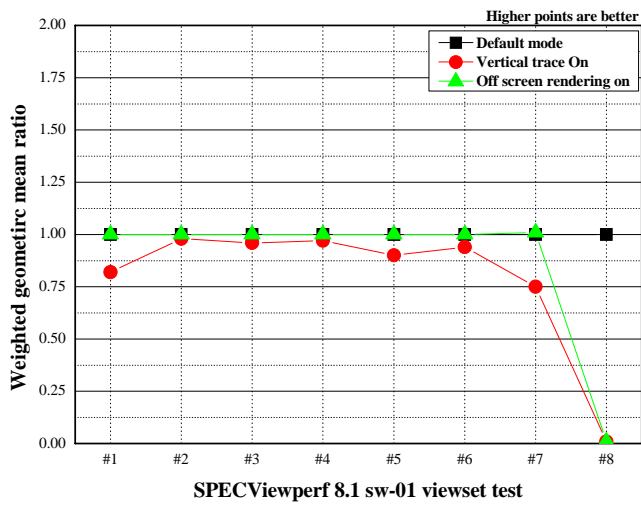


(a) On Pentium 4

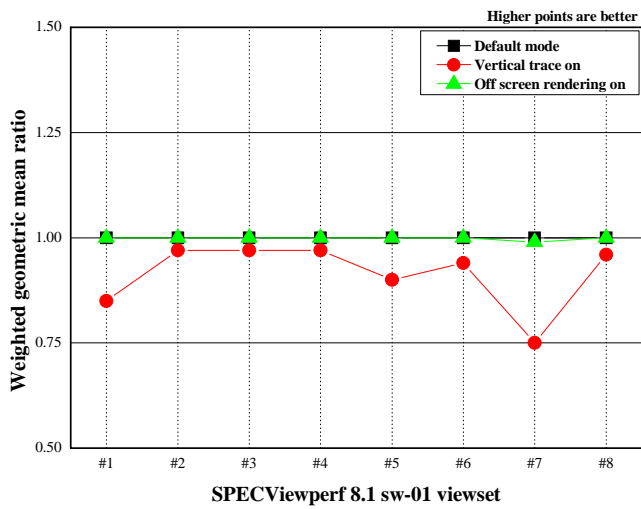


(b) On dual Xeon

Figure 4.11 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2

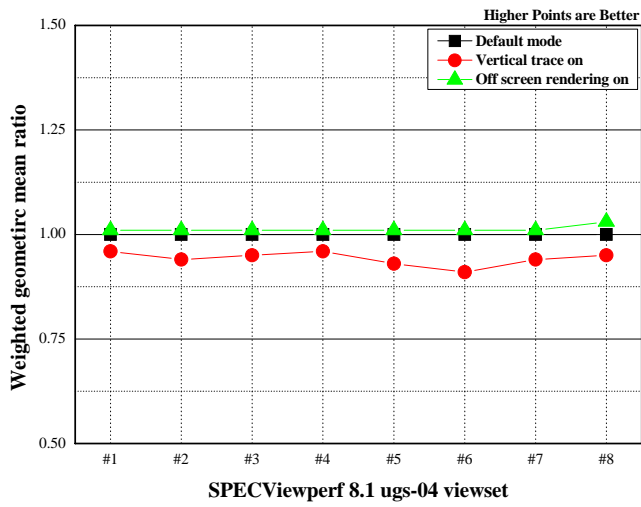


(a) On Pentium 4

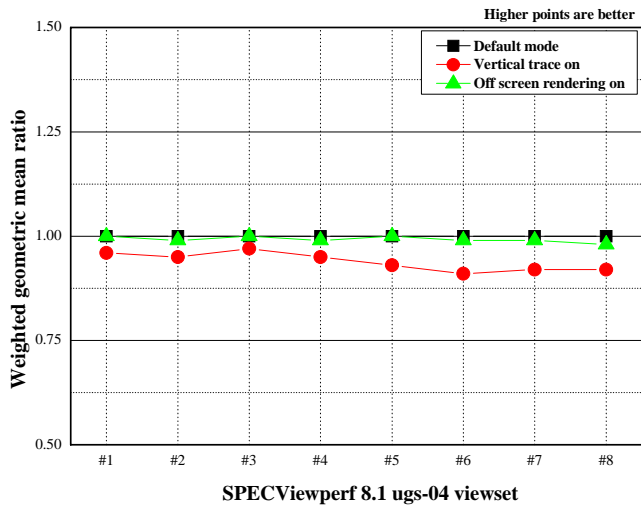


(b) On dual Xeon

Figure 4.12 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2



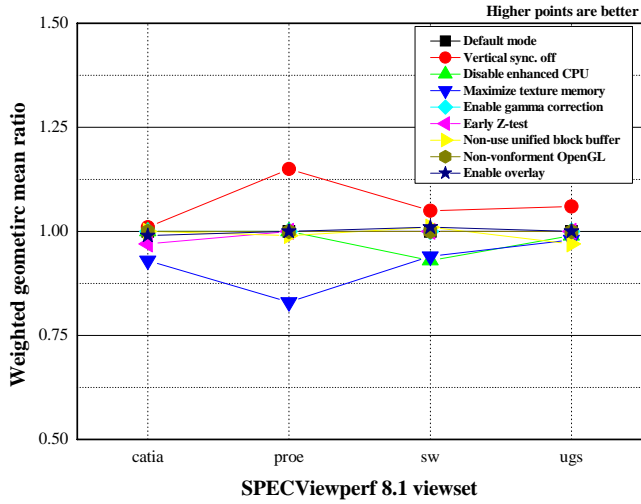
(a) On Pentium 4



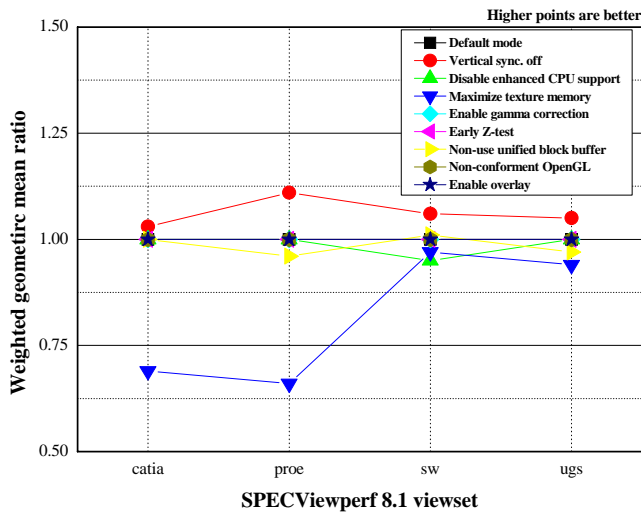
(b) On dual Xeon

Figure 4.13 Ugs-04 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by FireGL2

Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템의 Forceware 드라이버는 FireGL2에 비해 거의 모든 OpenGL 제어 요소를 제공한다. Figure 4.14는 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 환경에서 SPECViewperf 8.1의 각 뷰세트 항목에 대한 Quadro4 750XGL의 결과로, Quadro4 750XGL은 FireGL2에 비하여 환경 제어에 따라 상당한 성능 차이를 보여주고 있다. Vertical sync. 항목은 FireGL2와 마찬가지로 성능 차이가 크며 또한 텍스처 기억장치 설정에 따라서도 성능 저하가 현저하며, 이러한 변화는 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 가속 성능을 평가하는 SPECViewperf의 결과에 상당한 영향을 미친다. 이러한 사실은 Figure 4.15 ~ 4.18의 SPECViewperf 8.1의 각 뷰세트의 변화에서도 확인할 수 있다.

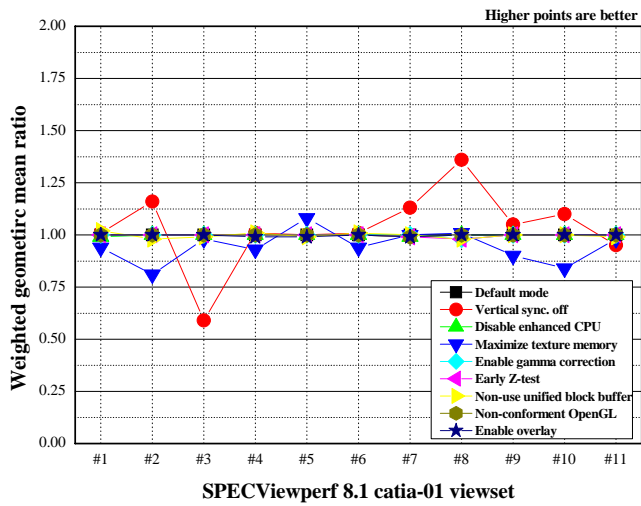


(a) On Pentium 4

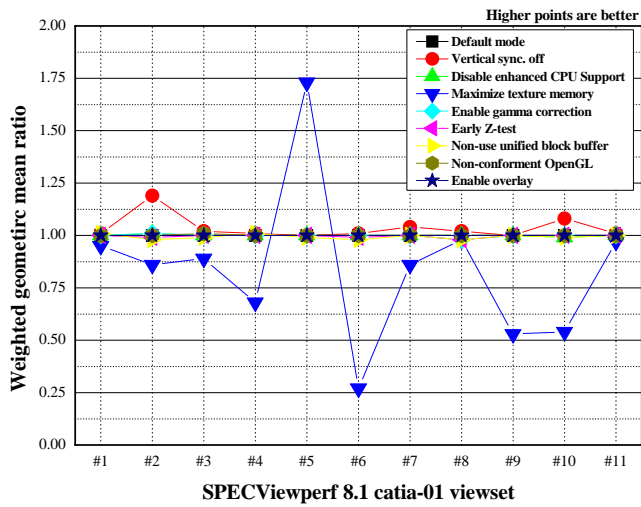


(b) On dual Xeon

Figure 4.14 Weighted geometric mean ratios of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor

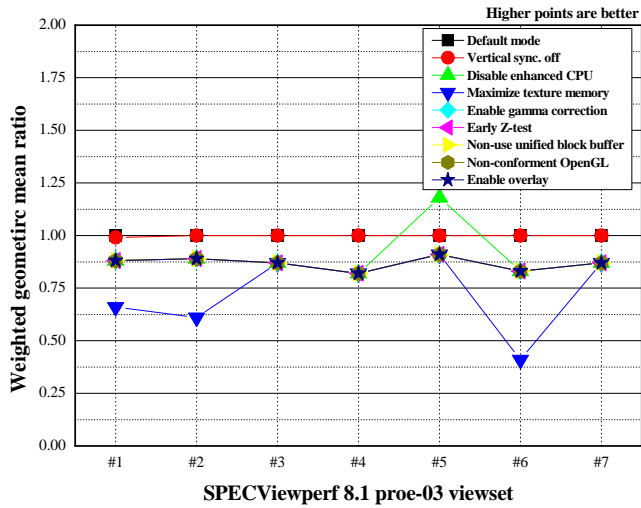


(a) On Pentium 4

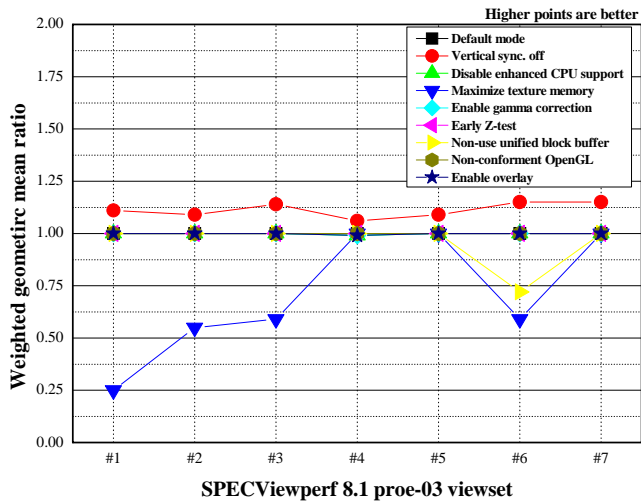


(b) On dual Xeon

Figure 4.15 Catia-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL

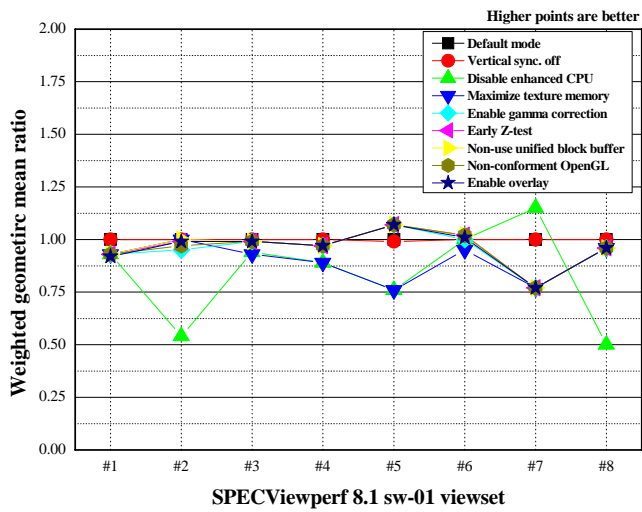


(a) On Pentium 4

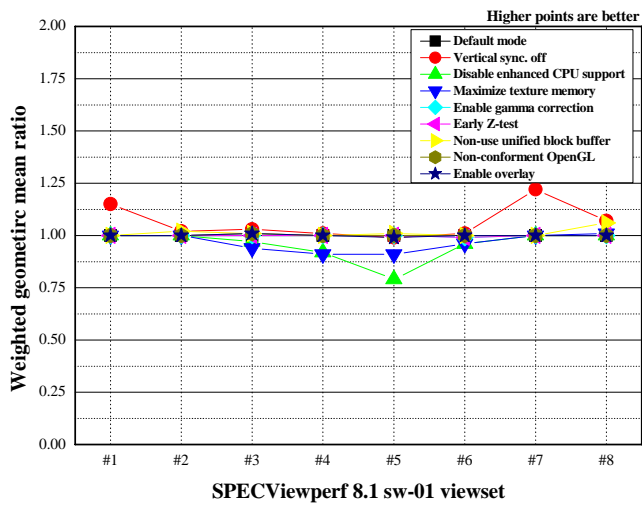


(b) On dual Xeon

Figure 4.16 Proe-03 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL

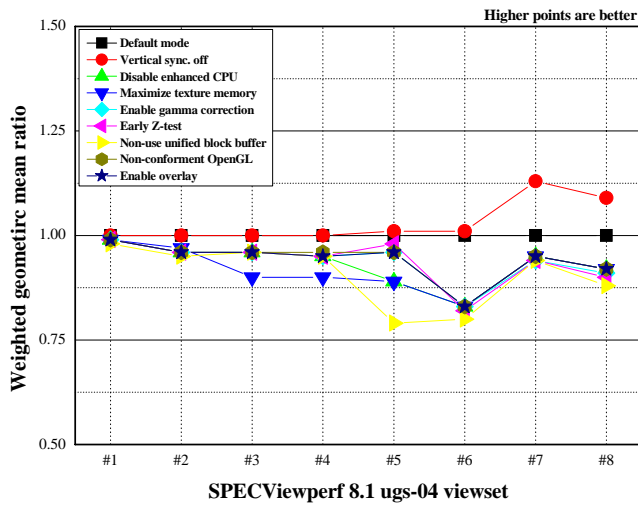


(a) On Pentium 4

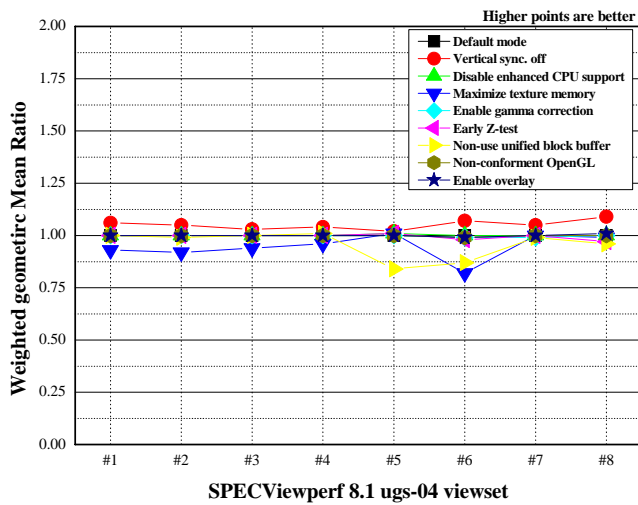


(b) On dual Xeon

Figure 4.17 Sw-01 viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL



(a) On Pentium 4

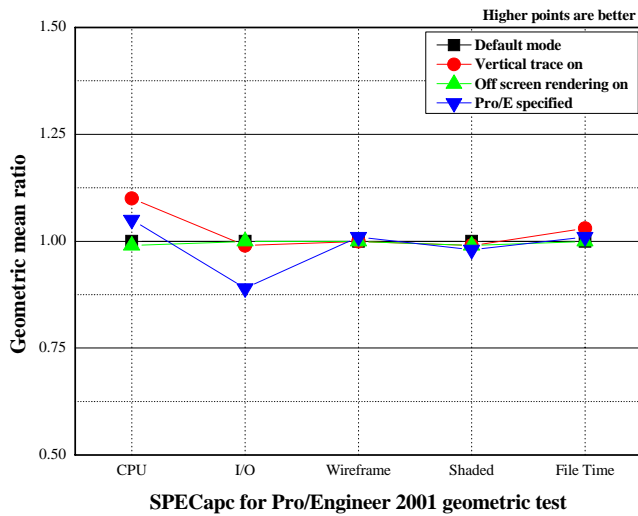


(b) On dual Xeon

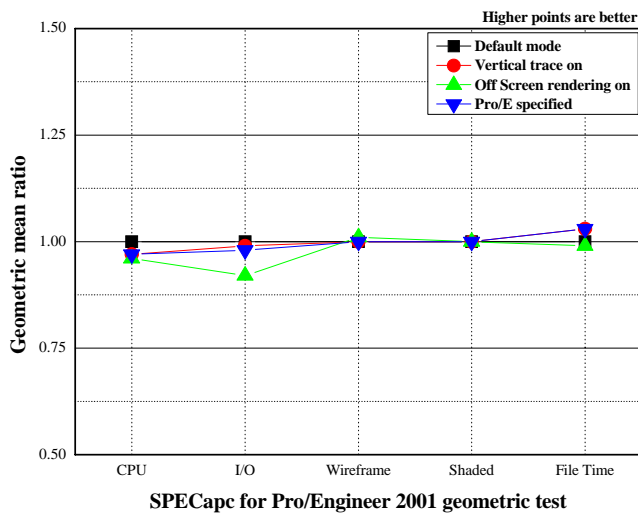
Figure 4.18 Ugs-04 Viewset of SPECViewperf 8.1 on Pentium 4 and dual Xeon processor by Quadro4 750XGL

4.4. 그래픽스 서브시스템의 3D CAD 어플리케이션 성능 분석

Figure 4.19와 4.20은 주기억장치 용량 1GB의 싱글 프로세서와 듀얼 프로세서 구성에서 FireGL2와 Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템의 제어 요소 변화에 따른 SPECapc for Pro/Engineer 2001의 결과이다. 측정된 FireGL2와 Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템의 환경 설정에 따른 3D CAD 어플리케이션 성능 변화는 약 10% 범위까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 하지만 주요한 특징은 변화의 폭이 큰 환경 설정 항목에 영향을 받는 부분이 마이크로프로세서와 I/O 서브시스템에 집중된 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 OpenGL 환경 설정으로 인해 이를 처리하는 마이크로프로세서와 주기억장치 그리고 보조기억장치 전체에 영향을 미치게 되고, 전체 3D CAD 어플리케이션의 성능에 차이를 유발하게 된다. Figure 4.21과 4.22는 각 그래픽스 서브시스템의 환경 설정에 대한 SPECapc for Pro/Engineer 2001의 세부 평가 항목의 성능 변화를 나타낸다.

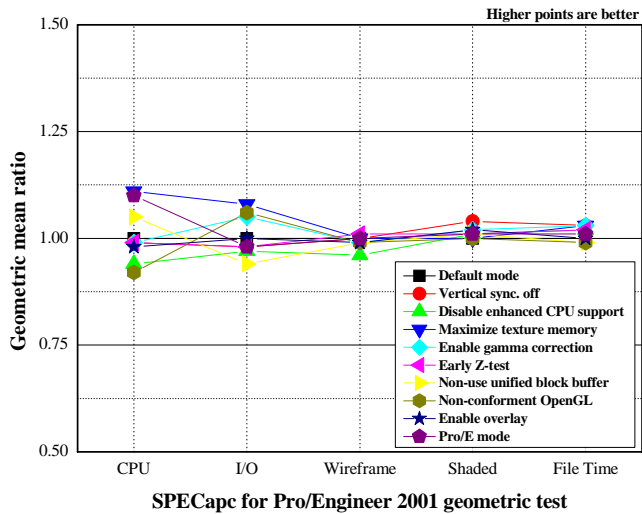


(a) On Pentium 4

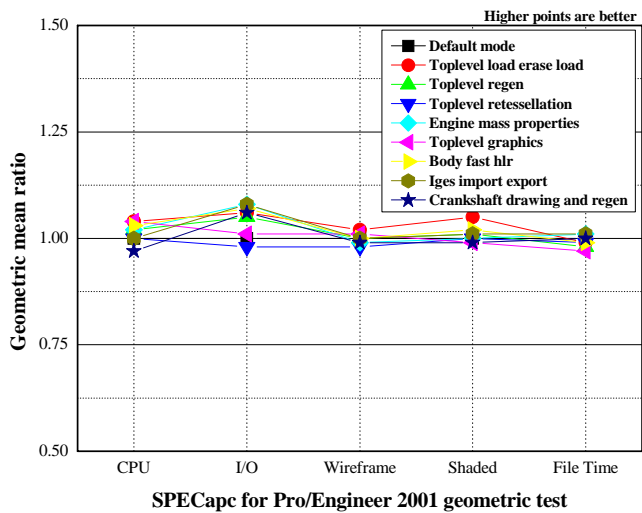


(b) On dual Xeon

Figure 4.19 SPECap for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories

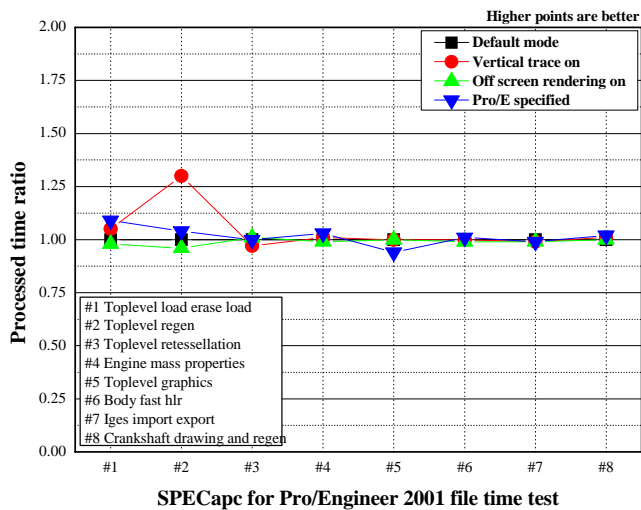


(a) On Pentium 4

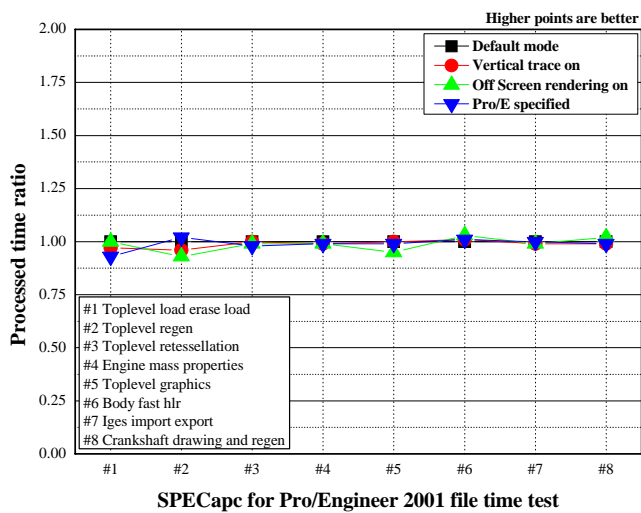


(b) On dual Xeon

Figure 4.20 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories

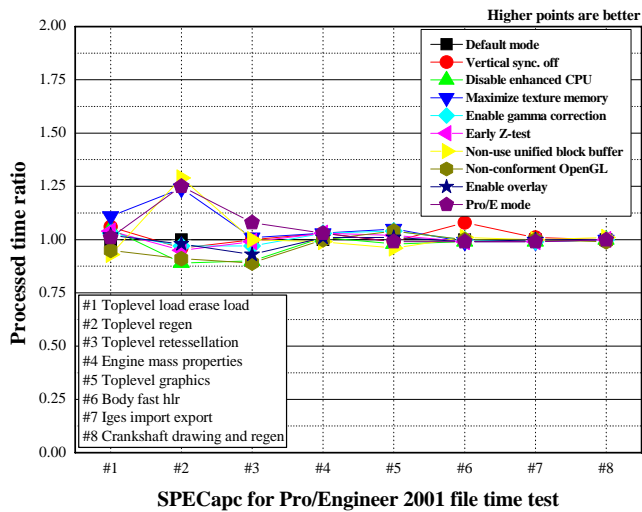


(a) On Pentium 4

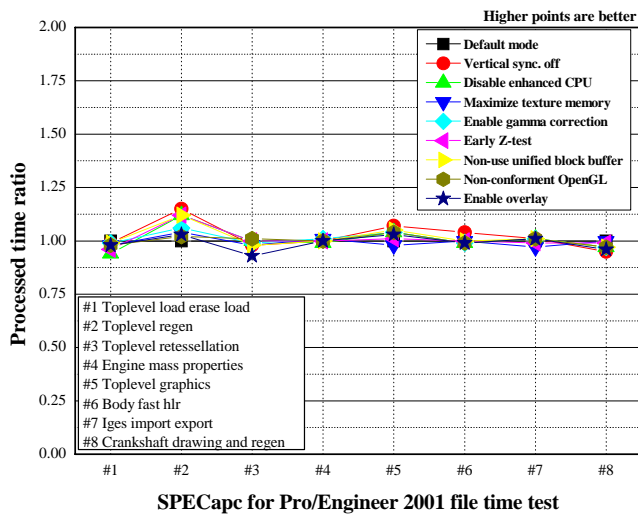


(b) On dual Xeon

Figure 4.21 Processed time ratios of SPECcap for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor



(a) On Pentium 4



(b) On dual Xeon

Figure 4.22 Processed time ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor

주기억장치 용량 확장에 따른 3D 그래픽스 성능 개선의 효과를 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 설정에 따른 결과와 비교하기 위해 2GB의 주기억장치 용량에 대한 평가를 수행하여 Figure 4.23에 나타내었다. 주기억장치 용량의 확장된 상태에서의 변화는 이전 결과와 비교하여 3D 그래픽스 성능 항목에서의 변화가 다소 큰 것을 알 수 있다.

Figure 4.24는 싱글 프로세서 환경에서의 주기억장치 용량 변화에 따른 결과를 함께 비교함으로써 3D 그래픽스 성능 개선 정도를 비교한 것이다. 이 결과에서 주기억장치 용량의 확장에 대한 성능 개선은 그래픽스 서브시스템의 3D 그래픽스 성능보다는 마이크로프로세서에 미치는 영향이 월등함을 다시 확인할 수 있다. 또한 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 가속에서는 와이어프레임 모델링이 약 25% 변화 폭을 보이는 것에 비해 셰이드-모델링은 약 10%의 변화를 보여, 와이어 프레임 모델링의 사용이 큰 3D CAD 어플리케이션의 성능 개선에 효과가 있음을 알 수 있다.

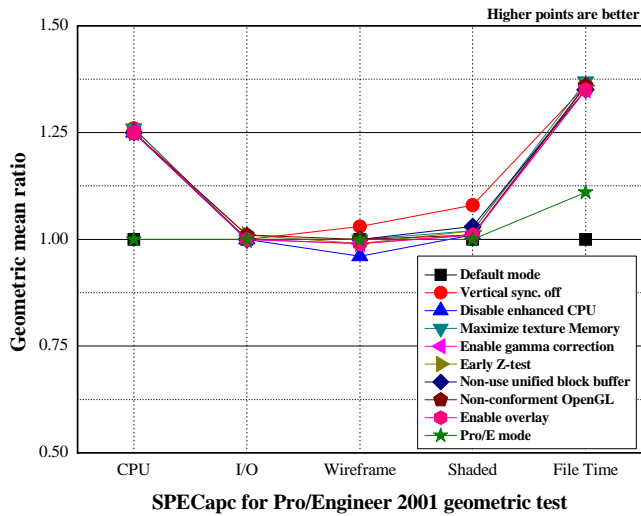


Figure 4.23 Geometric mean ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with 2GB memories

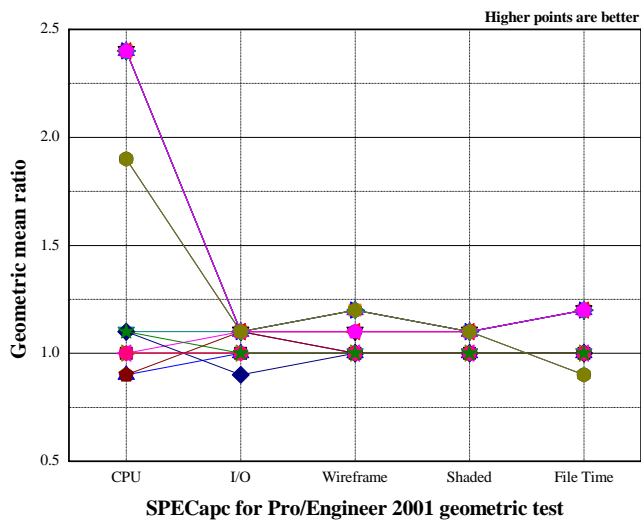
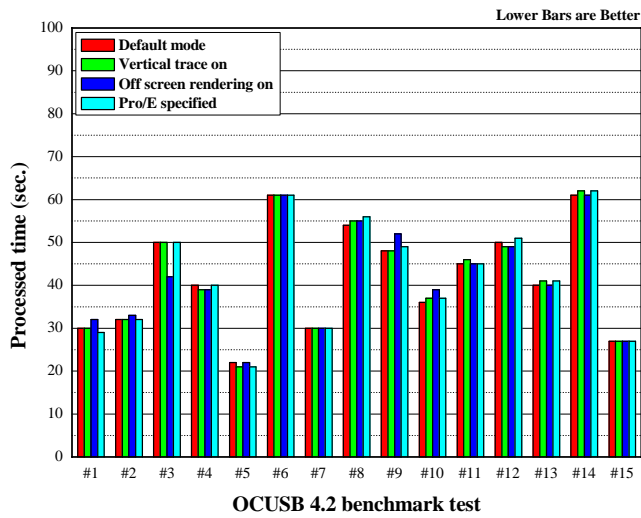


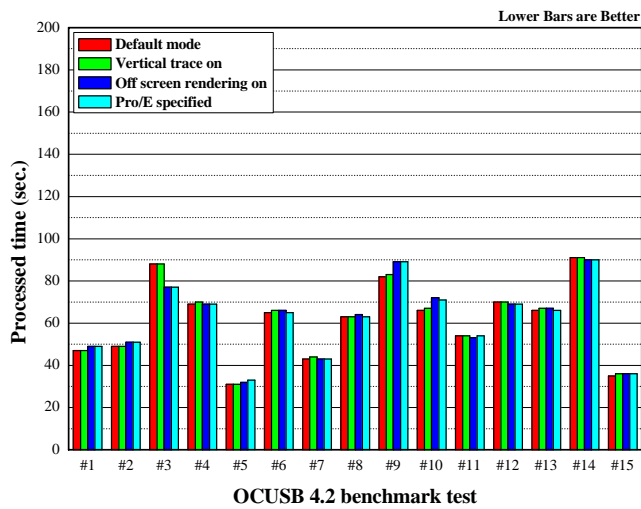
Figure 4.24 Geometric mean ratios of SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with 1GB and 2GB memories

이상의 결과에서 OpenGL 그래픽스 서브시스템의 설정으로 3D CAD 어플리케이션의 특정 기능 개선이 필요한 부분을 파악하고 이에 대한 효과를 확인할 수 있었다.

일반적인 상황에서의 적용을 위한 OCUSB 4.2를 통한 Wildfire 2.0의 그래픽스 성능에 대한 영향을 분석하였다. Figure 4.25와 4.26의 결과에서는 FireGL2 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 환경 제어에 대하여 3D 그래픽스 성능에서는 차이가 없지만 2차원의 처리 과정에서 변화가 있음을 알 수 있다. Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템도 거의 동일한 성능을 보여준다. Quadro4 750XGL는 프로세서 구성에 상관없이 고속 은선 재생성 단계에서 CPU의 특정 고속 처리 기능이 비활성으로 지정된 상태에서 상당한 속도 저하를 보여 주고 있다.

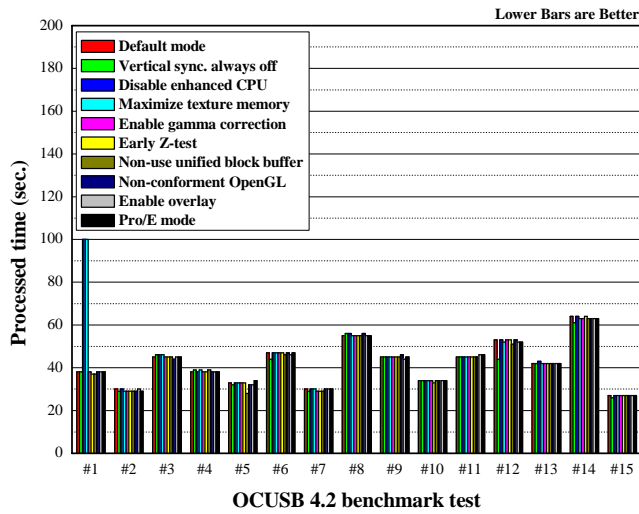


(a) On Pentium 4

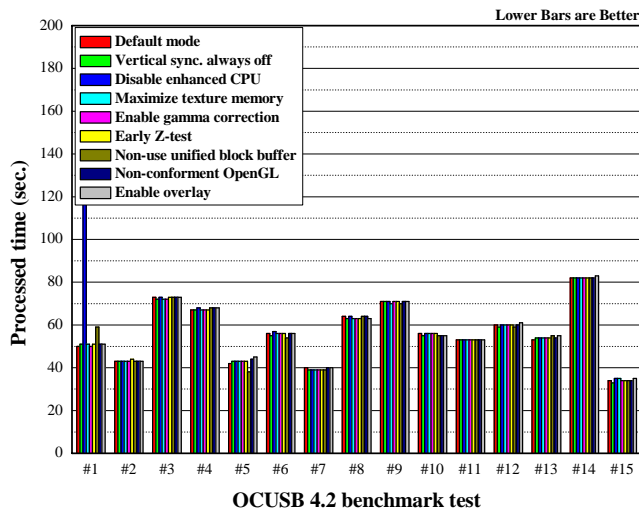


(b) On dual Xeon

Figure 4.25 Processed time ratios of OCUSB 4.2 graphics Components by FireGL2 on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories



(a) On Pentium 4



(b) On dual Xeon

Figure 4.26 Processed time ratios of OCUSB 4.2 graphics components by Quadro4 750XGL on Pentium 4 and dual Xeon processor with 1GB memories

Quadro4 750XGL의 OCUSB 4.2의 결과에 대하여 보다 높은 부하를 요구하는 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0에 적용한 결과는 Figure 4.27과 같다. 어플리케이션의 시스템 자원 요구가 크다는 점에서 전체적인 성능의 변화는 2GB의 주기억장치 용량임에도 1GB 용량의 SPECapc for Pro/Engineer 2001의 결과와 비슷한 경향을 보이지만, 특정 OpenGL 설정 항목에서는 OCUSB 4.2에서와 같은 변화를 보여준다.

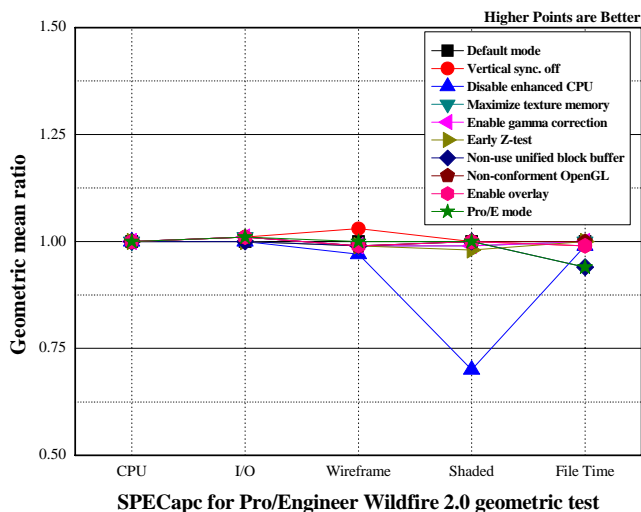


Figure 4.27 Geometric mean ratios of SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Pentium 4 processor with 2GB memories

4.5. 드라이버 개정에 의한 OpenGL 가속 성능 변화

워크스테이션 운영체제와 그래픽스 서브시스템은 디바이스 드라이버에 의해 연결된다. 드라이버에서의 예기치 않은 오류는 OpenGL 3D-API의 성능을 악화시킬 수도 있다. 때문에 그래픽스 서브시스템 개발사들은 지속적으로 드라이버에 대한 개선과 수정을 해야 한다. 일반적으로 사용자 입장에서선 운용하는 그래픽스 서브시스템에 대한 드라이버의 개정이 이뤄지게 되면 기존 드라이버를 대체하게 된다. 하지만 워크스테이션 및 3D CAD 어플리케이션에서의 성능 개선에 대한 검증 없는 개정은 큰 부작용을 발생시킬 수도 있다.

본 절에서는 그래픽스 서브시스템의 주요 드라이버 변화에 따른 OpenGL 3D-API 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션의 그래픽스 성능 변화를 분석하였다. 평가는 커널 변

화가 없는 싱글 프로세서 환경에서 윈도우 및 리눅스 운영체제의 Quadro 기반 그래픽스 서브시스템의 드라이버 변화에 대하여 수행하였다.

Quadro 그래픽스 프로세서 기반 그래픽스 서브시스템에 대한 드라이버는 2004년 이후 약 10 차례 이상 개정이 이뤄지고 있으며, 새로운 그래픽스 서브시스템의 출시와 함께 드라이버 개정이 이어지지만, 기존 제품에 대한 드라이버 개정에 대한 정보는 제대로 제공되지 않는 실정이다. Figure 4.28은 윈도우즈 XP 환경에서 Quadro4 750XGL에 대한 주요 드라이버 개정을 통한 SPECViewperf 8.1 변화를 측정한 결과이다.

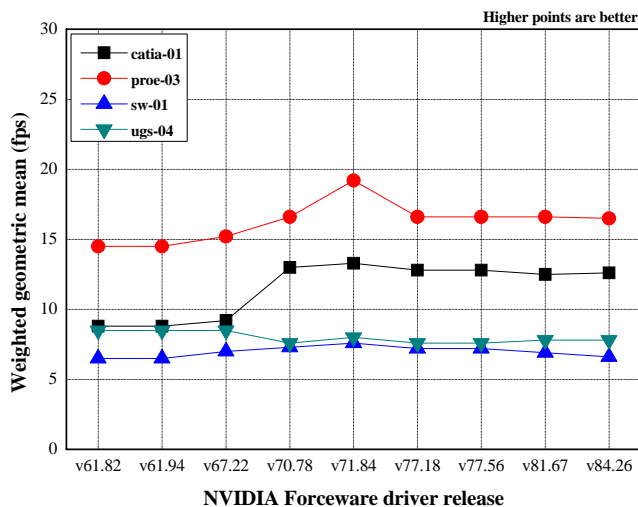


Figure 4.28 Viewsets of SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL with Windows XP ELSA/NVIDIA drivers on Pentium 4 processor

드라이버 개정에 대한 OpenGL 3D-API 가속 성능 변화는 모든 뷰세트에서 상당한 차이를 보여 주고 있다. 일반적으로 새로운 그래픽스 프로세서를 사용한 그래픽스 서브시스템은 OpenGL 3D-API 가속 성능이 뛰어난 결과를 보여주지만, 모든 성능에서의 개선이 이뤄지는 것이 아니란 것을 확인할 수 있다.

Figure 4.29의 SPECapc for Pro/Engineer 2001와 OCUSB 4.2의 결과에서도 드라이버 개정에 대해 약간의 성능 차이는 발생하지만 거의 동일한 성능을 유지하고 있음을 알 수 있다. Figure 4.30의 OCUSB 4.2에 대한 결과에서도 모든 버전에서 동일한 경향을 보여주고 있다. 본 논문에서는 이러한 결과를 바탕으로 그래픽스 서브시스템의 표준 드라이버를 71.84 버전이 사용하였다.

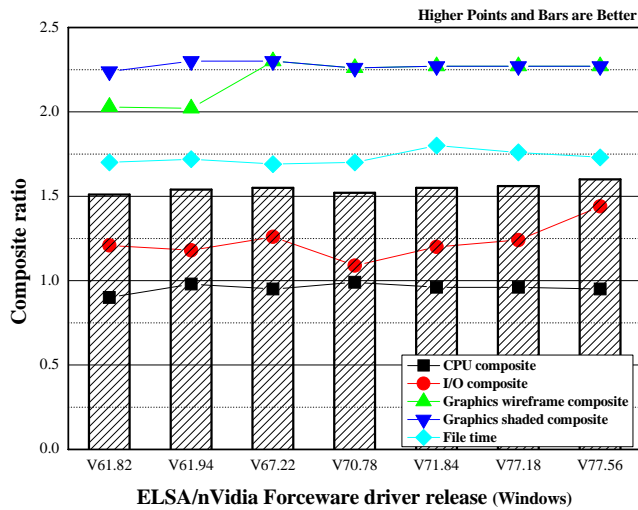


Figure 4.29 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL with Windows XP ELSA/NVIDIA drivers on Pentium 4 processor

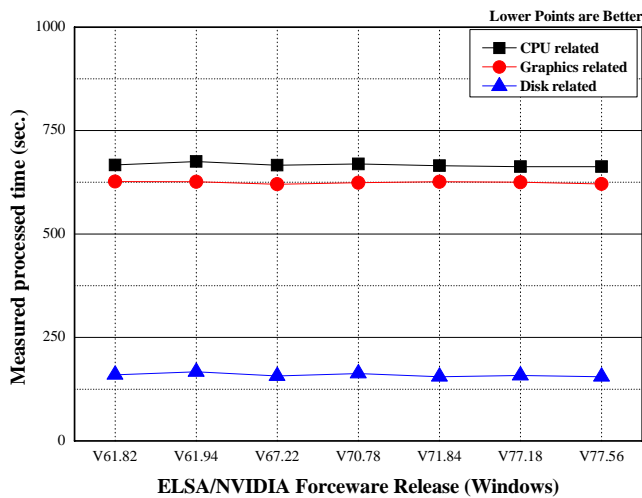


Figure 4.30 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL with Windows XP ELSA/NVIDIA drivers on Pentium 4 processor

드라이버 개정에 대한 성능 변화는 리눅스 운영체제에서도 동일하여 확인할 수 있다. 상대적으로 그래픽스 서브시스템에 대한 리눅스 드라이버 개정은 윈도우즈 드라이버에 비해 다소 느렸지만, 현재는 거의 동일한 수준에서 진행되고 있다고 볼 수 있다. 때문에 리눅스 운영체제의 그래픽스 서브시스템의 드라이버 그 개정에 대한 상대적으로 성능 변화의 폭이 큰 경우가 많다.

Figure 4.31은 Kernel 2.4.30의 GNU/Linux 환경에서의 SPECViewperf 8.1 수행 결과이다. GNU/Linux 드라이버 개정에서도 윈도우즈 드라이버와 마찬가지로 각 뷰세트의 결과가 상당한 차이를 보인다. 특히 일부 SPECViewperf 8.1의 뷰세트에서는 지속적으로 오류를 발생시키기도 했다. 전체적으로 GNU/Linux 드라이버는 71.74 버전에서 가장 양호한 결과를 보여주고 있다. Figure 4.32의 OCUSB 4.2를 통한 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 성능 변화에서도 거의 동일한 경향을 보여 주고 있다.

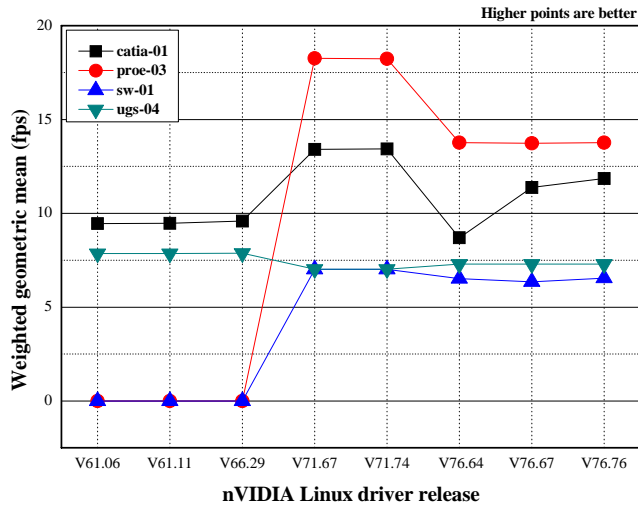


Figure 4.31 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL with NVIDIA GNU/Linux drivers on Pentium 4 processor

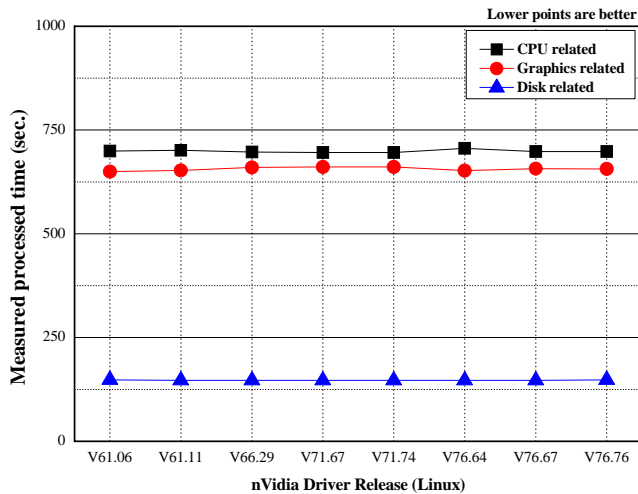


Figure 4.32 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL with NVIDIA GNU/Linux drivers on Pentium 4 processor

5. 운영 환경에 따른 3D 그래픽스 성능 분석

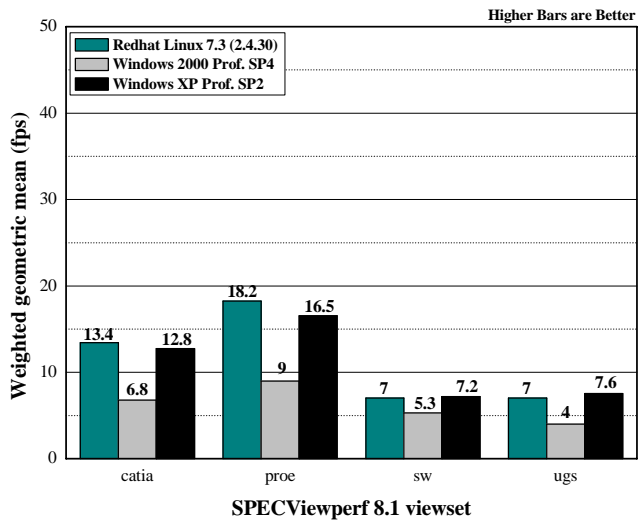
현재 대부분의 워크스테이션은 X86-계열 마이크로프로세서를 사용하면서 마이크로소프트 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열의 운영체제를 운용하고 있다. 이것은 주요 3D CAD 어플리케이션들이 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열에서 구동이 가능하게 된 결과이다. 때문에 3D CAD 어플리케이션이 구동하는 운영 환경은 전체적인 시스템 성능과 3D CAD 어플리케이션의 운영 효율에 큰 영향을 미친다. 하지만 상대적으로 하드웨어 측면에 비해 이러한 소프트웨어 측면에서의 OpenGL 성능 개선은 간과되고 있다.

본 논문에서는 32-비트 윈도우즈 NT 워크스테이션 계열의 윈도우즈 2000 프로페셔널 과 윈도우즈 XP 프로페셔널 그리고 새로운 워크스테이션 운영체제로의 가능성이 큰 GNU/Linux 환경에서의 OpenGL 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션의 성능을 분석하였다. GNU/Linux 운영체제를 UNIX와 같은 계열의 운영체제로 평가할 때, 윈도우 시스템으로 X-Windows System을 사용한다. X-Windows System 환경에서의 멀티 쓰레드 지원 연구는 윈도우즈 NT에 비해 더 많은 시도가 있었다^[31].

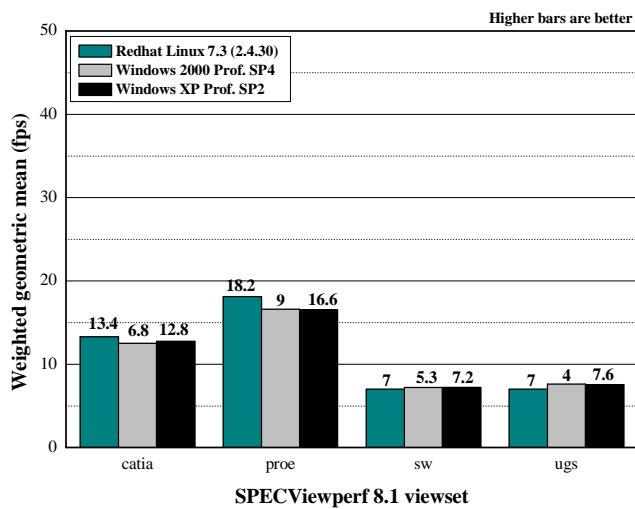
5.1. 운영 체제에 따른 3D 그래픽스 성능 변화

Figure 5.1과 5.2는 윈도우즈 XP SP2와 GNU/Linux 2.4.30 (Redhat Linux 7.3)에서 SPECViewperf 8.1과 OCUSB 4.2를 통하여 Quadro4 750XGL 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 성능과 Pro/Engineer Wildfire 2.0의 운영 성능을 1GB와 2GB의 주기억장치에서 비교한 결과이다.

OpenGL 3D-API 가속 성능은 주기억장치 용량에 관계없이 윈도우 XP SP2와 GNU/Linux 2.4.3에서 유사한 성능을 보여주고 있다. 그리고 Pro/Engineer Wildfire 2.0 운영 성능에서는 윈도우즈 XP SP2에 비해 Linux가 전체적으로 약 20 ~ 40% 정도의 성능 개선 효과를 보여준다. 이것은 마이크로프로세서 성능이나 파일 처리에서의 높은 성능에 기인한다고 볼 수 있다.

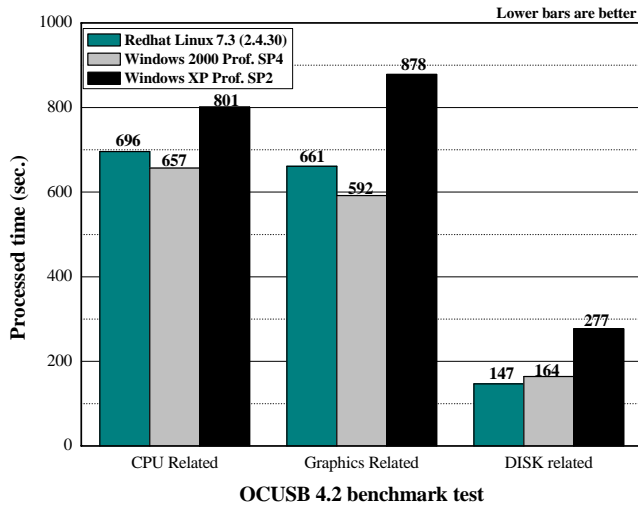


(a) SPECViewperf 8.1 with 1GB

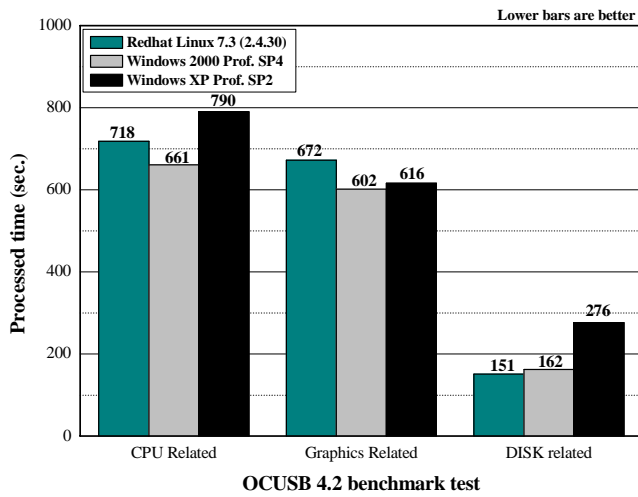


(b) SPECViewperf 8.1 with 2GB

Figure 5.1 SPECViewperf 8.1 by Quadro4 750XGL on GNU/Linux and Windows systems with 1GB and 2GB memories



(a) OCUSB 4.2 with 1GB

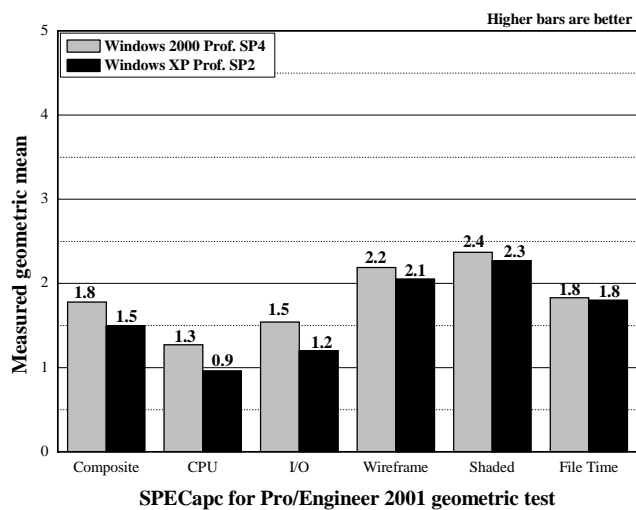


(b) OCUSB 4.2 with 2GB

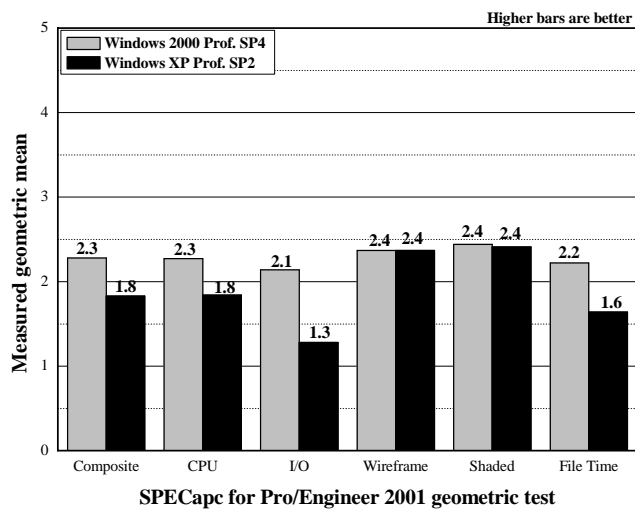
Figure 5.2 OCUSB 4.2 by Quadro4 750XGL on GNU/Linux and Windows systems with 1GB and 2GB memories

일반적으로 같은 계열의 새로운 운영체제가 요구하는 시스템 자원은 상대적으로 이전 운영체제에 비해 크다는 사실과 이로 인한 제한된 하드웨어 성능에서의 3D 그래픽스 어플리케이션 운영에 영향을 미친다는 점을 알 수 있다. 비록 새로운 운영체제가 상대적으로 새로운 기능을 사용자에게 제공하기는 하지만, 워크스테이션의 도입 목적에 비취 3D CAD 어플리케이션의 안정된 성능의 제공이 우선 고려될 필요가 있다. 운영체제에 따른 성능 차이는 일반적인 수준의 작업에 비해 3D CAD 어플리케이션의 작업량이 매우 큰 경우 그 영향이 상당하다. Figure 5.3과 5.4의 윈도우 NT 워크스테이션 운영체제 간의 SPECapc for Pro/Engineer 2001과 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 성능 평가는 이러한 결론을 확인할 수 있으며, Figure 5.5와 5.6의 FireGL2의 운영체제에 따른 변화에서도 유사한 경향을 나타내고 있다.

윈도우 NT 워크스테이션 계열의 운영체제에 비교한 GNU/Linux 운영체제의 경우, 커널을 포함한 시스템이 요구하는 시스템 자원이 요구량이 상대적으로 적으며, 시스템 전반에 걸친 제어가 용이하다는 점에서 3D 그래픽스 워크스테이션 운영체제로서의 효용성이 크다고 볼 수 있고^[32], 현재 주요 리눅스 배포판 업체들에 의해 그 개발이 시도되고 있다^[33]. 윈도우 NT 워크스테이션 계열과 달리 네트워크 서버 기능을 동시에 수행하는 환경에서의 이러한 결과는 3D CAD 어플리케이션 성능 개선은 워크스테이션 운영 체제로서의 성능 향상에 대한 효과를 기대할 수 있게 한다. 또한 클러스터 구성 등과 같은 대규모 수치 계산 시스템으로의 적용이 활발하다는 점과^[34] 최근 데스크 탑 운영체제로의 접근에 비취 볼 때, 워크스테이션 운영체제로서 충분한 경쟁력을 확보할 수 있다고 본다.

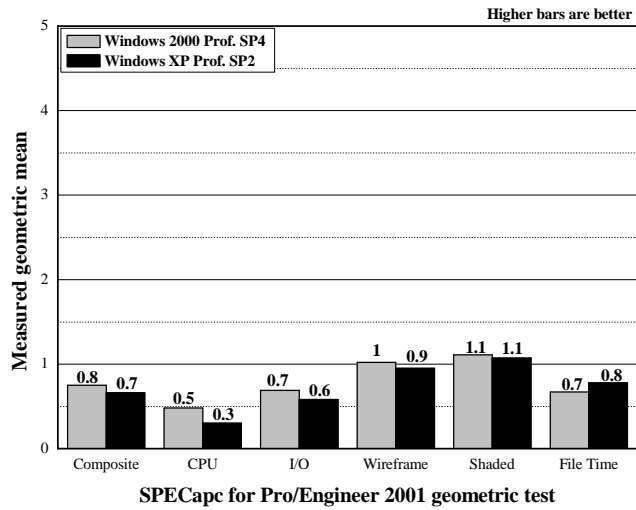


(a) SPECap for Pro/Engineer 2001 with 1GB

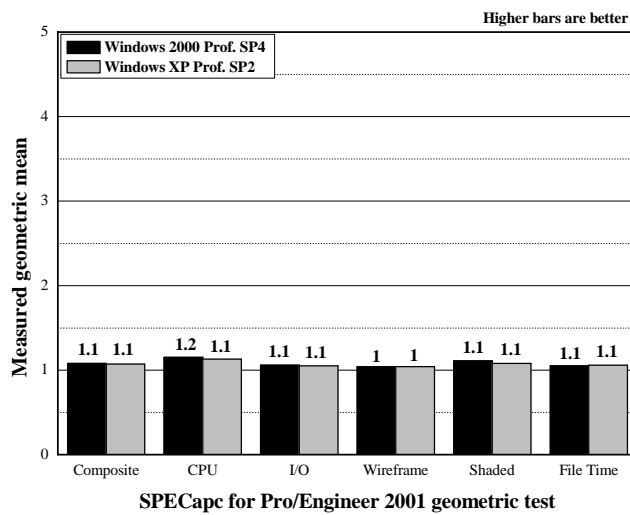


(b) SPECap for Pro/Engineer 2001 with 2GB

Figure 5.3 SPECap for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL on Windows systems with 1GB and 2GB memories



(a) SPECcap for Pro/Engineer Wildfire 2.0 with 1GB



(b) SPECcap for Pro/Engineer Wildfire 2.0 with 2GB

Figure 5.4 SPECcap for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 750XGL on Windows systems with 1GB and 2GB memories

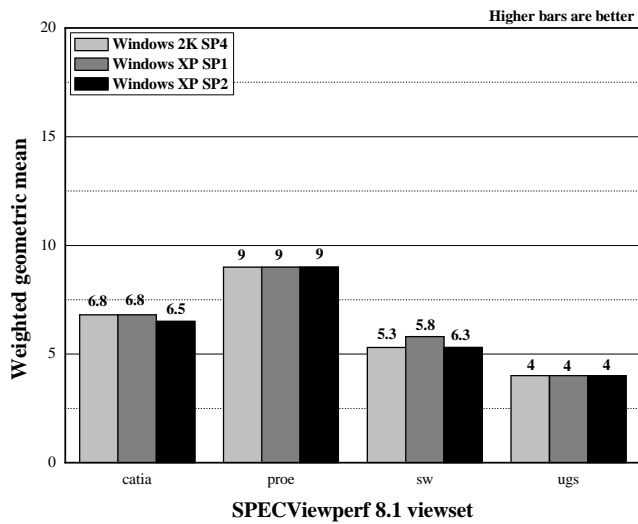
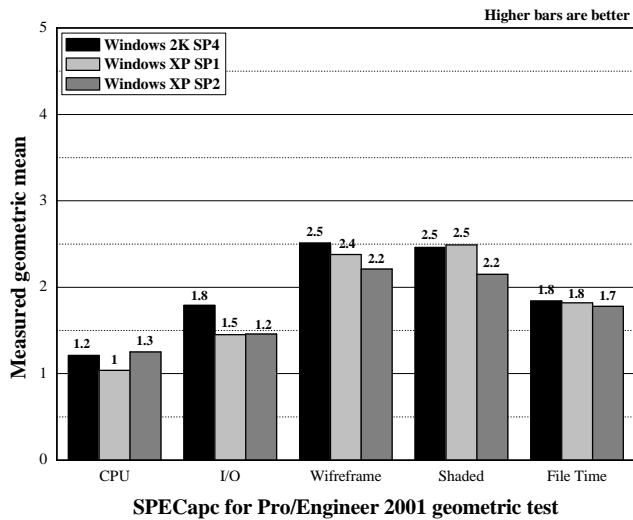
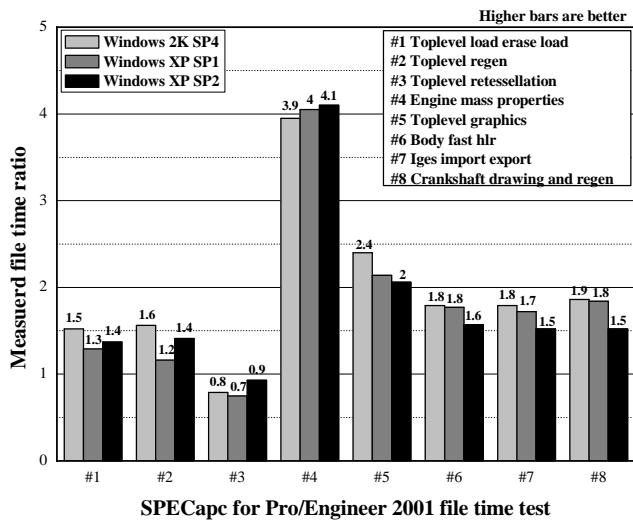


Figure 5.5 SPECViewperf 8.1 by FireGL2 on Windows systems of Pentium 4 processor



(a) Geometric test



(b) File time test

Figure 5.6 SPECapc for Pro/Engineer 2001 by FireGL2 on Windows systems of Pentium 4 processor with 1GB memories

5.2. OpenGL 프로그래밍 단계의 성능 저하 요소 분석

운영체제와 함께 소프트웨어 측면에서의 OpenGL 성능 개선은 프로그래밍 과정에서 적용할 수 있다. 하지만 원칙적으로 워크스테이션 하드웨어의 설계 성능 이상을 기대할 수는 없기 때문에, 프로그래밍 과정은 마이크로프로세서, 주기억장치 및 보조기억장치 그리고 그래픽스 서브시스템의 연결에서 발생하는 병목 현상을 파악하고 이를 피하는 것이다.

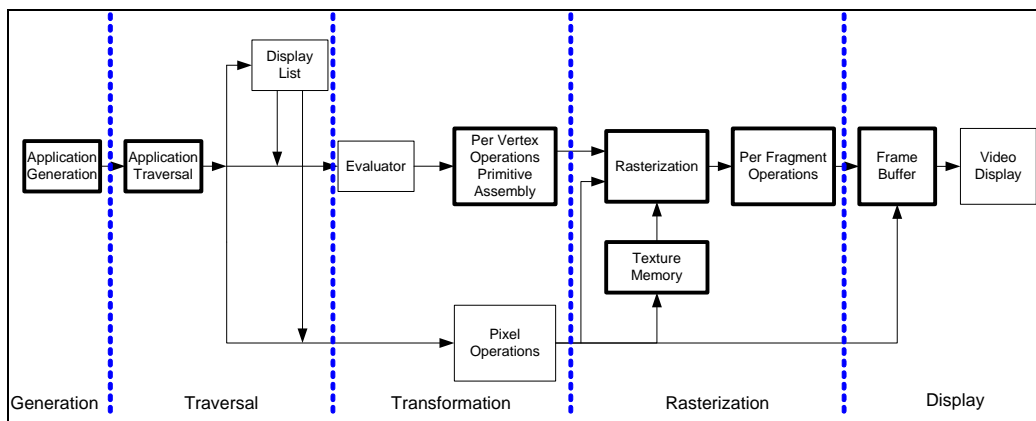


Figure 5.7 Graphics pipelines of OpenGL 3D-API specification

OpenGL 그래픽스 서브시스템은 디스플레이에 연속 재생을 위한 이미지 픽셀 배열의 기억장치인 프레임 버퍼가 연결된 그래픽스 파이프라인을 의미한다^[35]. Figure 5.7은 OpenGL 3D-API의 그래픽스 파이프라인을 단계 별로 구성한 것으로 각 단계의 렌더링 파이프라인을 구성한다^[36]. 파이프라인 구조 분석을 통한 하드웨어 측면의 병목현상은 이어진 작업 단계 구조에서 하나의 작업이 전체 3D 그래픽스 성능에 영향을 미치게 된다. 병목 현상의 개선은 일부 작업이 시스템 성능을 제한하게 될 때, 다른 작업들이 이를 피할 수 있도록 프로그래밍 과정에서 균형을 맞추는 것이다^[37].

1) 생성 (generation) 단계: 마이크로프로세서에 의해 디스플레이 정보와 어플리케이션 데이터 구조를 운용하는 단계로 3D CAD 어플리케이션, 그래픽스 서브시스템 드라이버 및 OpenGL API에 의해 병목 현상이 발생할 수 있다. 본 논문에서처럼 PERFMON 등을 이용하여 전체 시스템의 각 기능에서의 병목 현상은 확인할 수는 있지만, OpenGL 3D-API 기반 어플리케이션은 그래픽스 프로세서에 대한 종속성이 있기 때문에 모든

OpenGL 사용 범위에 걸친 변환 단계의 병목 현상의 파악이 힘들다.

2) 전송 (traversal) 단계: 그래픽스 데이터를 어플리케이션 데이터로 전송하는 단계로 프로그램에서의 버텍스 크기에 대한 수치 오류가 발생할 수 있으며, 하드웨어 측면에서는 그래픽스 서브시스템의 버스 설정 오류 등으로 인해 병목 현상이 발생할 수 있다. 즉, 호스트와 그래픽스 서브시스템이 각각 3D 그래픽스 작업에 이용되고 있다 할지라도 인터페이스로 인한 병목 현상이 발생할 수 있기 때문에 그래픽스 서브시스템과 작동하는 호스트의 시스템 및 주변기기 버스가 3D CAD 어플리케이션을 운용하기에 충분한 대역폭을 확보해야 한다. 일반적으로 그래픽스 서브시스템 측면에서는 AGP (Accelerated Graphics Port) 인터페이스 배율에서 AGP 속도를 마더보드 (motherboard)의 최대 속도로 유지하며^[38], 현재 새로운 PCI-Express 방식 버스의 도입으로 하드웨어 측면에서 속도 개선을 기대할 수 있다^[39].

3) 변환 (transformation) 단계: 어플리케이션의 데이터에서 오브젝트 좌표를 시각 좌표로 변환하며, 클립 데이터 (clip data)를 윈도우 좌표로 투영하는 단계이다. 어플리케이션에서의 모델링 과정의 버텍스 증가와 반복 계산이 병목 현상을 발생할 수 있기 때문에, 모델의 버텍스 및 폴리곤 수를 줄이는 방법으로 성능을 개선할 수 있다. 그리고 이 단계에서는 마이크로프로세서가 아닌 그래픽스 프로세서에 의해 렌더링 프로그래밍이 이뤄진다면 상대적으로 성능이 개선될 수 있다.

변환 단계에서의 문제는 어플리케이션의 변환 모드에 따라 결정되기 때문에 OpenGL 프로그래밍 단계에서 적절한 변환 모드를 선택하는 것이 중요하다. 하지만 서로 다른 하드웨어 환경에서 운용되는 3D CAD 어플리케이션에서 이에 대한 개선이 불가능하므로, 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 모드의 환경 제어를 통하여 성능 개선하는 방법을 적용할 수 밖에 없다. 그러나 그래픽스 서브시스템이 제공하는 3D CAD 어플리케이션 모드 역시 일반적인 환경을 전제로 설정되기 때문에 워크스테이션 개발자와 3D CAD 어플리케이션 사용자는 운용 환경에 적절한 OpenGL 3D-API 환경을 선택할 수 있어야 한다.

4) 레스터 (rasterization) 단계: 윈도우 공간의 선과 폴리곤 요소를 프레임 버퍼에 픽셀로 렌더링하는 단계로 셰이딩, 텍스처 그리고 깊이 계산이 반복적으로 수행된다. 하지만 단순히 버텍스와 폴리곤의 수가 증가가 병목 현상을 발생하지는 않는다^[40].

이 단계에서는 요소 분해와 텍스처 기능 등이 처리되기 때문에, 프로그램에서의 데이터의 입출력 구조 개선과 프래그먼트 단계의 제어로 그리고 기억장치 용량 확보 등

으로 성능 저하를 방지할 수 있다. 즉, 그래픽스 서브시스템이 기하 요소에 대하여 주 기억장치로부터 직접 데이터를 읽어 들이도록 하여 마이크로프로세서의 부하를 줄이게 할 수 있다. 그리고 텍스처 이미지 입출력에는 기억장치의 성능에 의해 크게 좌우되므로 충분한 기억장치 확보와 캐시 처리 등이 필요하다.

5) 출력 (display) 단계: 프레임 버퍼의 픽셀을 모니터로 내 보내는 과정에서 일반적인 병목 현상이 발생할 수 있지만, 그래픽 서브시스템의 환경 설정으로 처리가 가능한 단계이다.

OpenGL 3D-API의 그래픽스 파이프라인은 마지막 세 단계를, 생성 및 전송 단계는 어플리케이션에서 해당되기 때문에 어플리케이션 의존성이 큰 작업들은 마이크로프로세서가 담당하도록 프로그래밍할 수도 있다.

6. 고찰

6.1. 마이크로프로세서와 기억장치 구성

마이크로프로세서 성능과 구성에 따른 OpenGL 3D-API 가속 성능 및 3D CAD 어플리케이션 운용 효율은 싱글 프로세서 구성이 멀티 프로세서 구성에 비해 더 높은 성능과 효율을 제공하는 것을 확인했다. 이것은 Xeon의 Pentium 4에 대한 사양과 기능에서의 우수함에도 불구하고, 일반적인 워크스테이션의 멀티 프로세서 구성에 대한 기대와 크게 다른 결과이다. 이 결과의 원인을 파악하기 위해 먼저 윈도우 NT 워크스테이션 운영체제에서의 OpenGL 3D-API 가속 기능에 대해 분석하여 다음 사실을 확인하였다.

현재 윈도우 NT 워크스테이션 계열 운영체제는 OpenGL 프로그래밍 과정에서 하나의 gl 컨텍스트 만을 화면에 나타낼 수 있다. 때문에 멀티 프로세서 구성에서 각각의 OpenGL 렌더링을 위한 gl 컨텍스트를 멀티 쓰레드로 처리하더라도, gl 컨텍스트를 처리하는 윈도우는 하나 만이 생성될 수 있다.

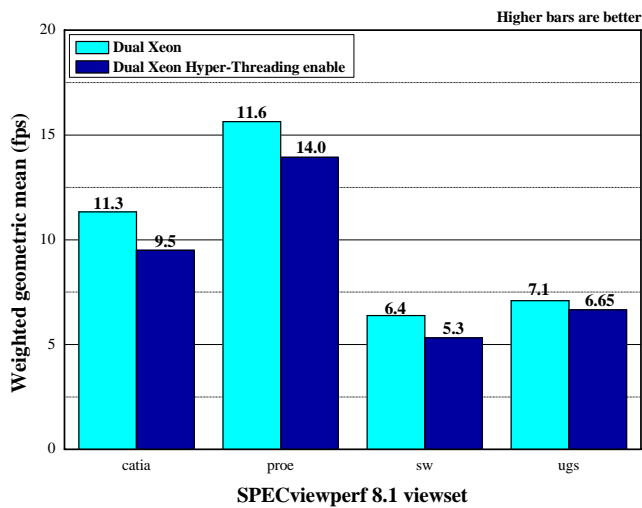
그리고 현재 워크스테이션 환경에서 OpenGL 3D-API 및 3D 그래픽스 어플리케이션 쓰레드로 인한 마이크로프로세서의 부하가 크다는 점도 확인할 수 있었다. 이것은 그래픽스 서브시스템의 그래픽스 프로세서의 역할이 마이크로프로세서에 의해 적으며, 대부분의 3D 그래픽스 어플리케이션에서는 그래픽스 프로세서가 아닌 마이크로프로세서를 사용하는 방식을 선택하고 있기 때문이다. 이러한 문제는 과거 엔지니어링 워크스테이션과 달리 하드웨어에 종속되지 않은 개별 그래픽스 서브시스템에 대하여 모든 3D 그래픽스 어플리케이션의 기능이 대응하도록 설계하는 것은 매우 어렵기 때문이다.

이러한 마이크로프로세서와 그래픽스 프로세서 간의 관계는 실제 두 분야의 제조사의 워크스테이션 시장에 대한 접근 시각이 다르기^[41] 때문에 현재까지 결론이 나지 않고 있는 실정이다. 그러므로 현재의 워크스테이션의 마이크로프로세서 성능과 구성에 관련하여 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

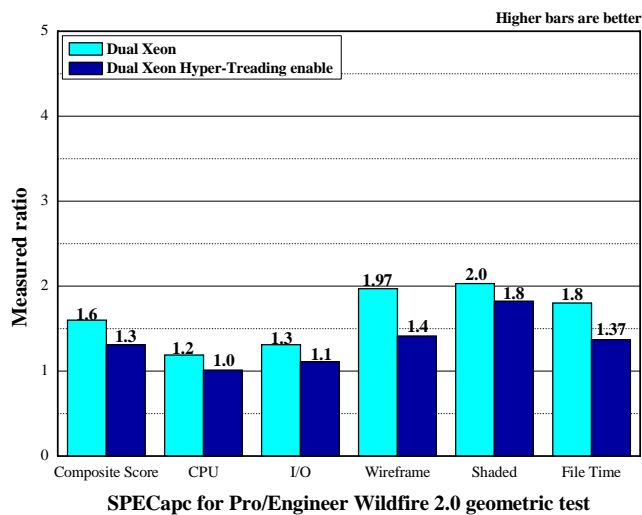
1) 마이크로프로세서 처리 속도 개선: X86 계열 마이크로프로세서는 64-비트의 전환이 시작되고 있으며, 64-비트 환경은 데이터 처리 속도와 기억장치 용량의 확보라는 측면에서 상대적으로 32-비트 환경의 3D CAD 어플리케이션 운용에서의 문제 해결에 큰 기대를 주고 있다^[42]. 많은 워크스테이션 사용자들은 64-비트 마이크로프로세서에 기반한 시스템으로의 전환을 고려하지만, 높은 비용 부담과 RISC 계열 마이크로프로세서 기반 워크스테이션이 보여준 64-비트 환경에서의 기대 이하의 생산성 향상 효과가

문제가 되고 있다. 또한 현재 모든 32-비트 환경의 워크스테이션에서 64-비트 어플리케이션으로의 전환은 이제 시작 단계에 있다.

이러한 상황에서 최근 멀티 프로세서 구성의 대안으로 하이퍼-쓰레딩 및 듀얼 코어 등의 새로운 기술이 적용되고 있다. 특히 듀얼 코어 기술은 멀티 프로세서 구성에 비해 가격대 성능비에 있어 효율이 높다는 점에서 도입이 증가할 것으로 기대되고 있다. 하지만 이미 확인된 멀티 프로세서 환경에서의 3D CAD 어플리케이션 성능과 같이 실제 효과는 아직 의문이며^[43], 또한 멀티 프로세서에 비해 높은 가격대 성능비도 싱글 프로세서 기반 워크스테이션의 3D 그래픽스 성능에는 미치지 못하고 있다. Figure 6.1은 하이퍼-쓰레딩 기능의 활성화가 OpenGL 3D-API와 3D CAD 어플리케이션 성능 개선에 비효율적이라는 것을 보여 준다.



(a) SPECViewperf 8.1



(b) SPECcapc for Pro/Engineer 2001

Figure 6.1 SPECViewperf 8.1 and SPECcapc for Pro/Engineer 2001 by Quadro4 750XGL with hyper-threading enable or not on dual Xeon processor

2) 멀티 프로세서 지원 어플리케이션 개발: 현재 워크스테이션에서 운용되는 어플리케이션에서의 멀티 프로세서 지원은 일부 특수한 경우로 한정되어 있다. 3D 그래픽스 부문에서는 DDC (Digital Contents Creation) 어플리케이션에서 이미지 렌더링 등과 같이 그래픽스 서브시스템 기능이 필요 없는 일부 작업에 멀티 쓰레딩을 적용하고 있으며, OpenGL 렌더링에 대한 멀티 프로세서 지원은 효과가 불확실하다.

일반적으로 멀티 프로세서의 활용은 두 개 혹은 그 이상의 쓰레드가 서로 다른 시스템 자원에 접근해야 하기 때문에 OpenGL 기반 프로그램도 멀티 프로세서 환경을 지원하도록 작성되어야 하고^{[44],[45]}, 개발 도구에 의해서도 멀티 쓰레드가 지원되어야 한다. 하지만 현재 X86 환경에서 가장 많이 사용되는 마이크로소프트의 컴파일러도 최근에 서야 OpenMP 등의 멀티 쓰레딩 지원 라이브러리의 운용이 가능하게 되었다^[46]. 본 논문에서 사용한 SPECViewperf 8.1 실행 파일 생성에 사용된 마이크로소프트 Visual Studio 6 의 경우, OpenMP를 지원하지 않기 때문에 실질적인 멀티 쓰레드를 지원하는 코드를 생성할 수 없었다. 최근 멀티 코어 환경으로의 변화와 함께 통일한 개발 환경이 완성된다면 IA기반 워크스테이션의 3D 그래픽스 어플리케이션의 멀티 프로세서 및 멀티 쓰레드 지원도 기대할 수 있다^[47].

워크스테이션의 마이크로프로세서 성능이나 구성과 함께 3D CAD 어플리케이션을 운용하는 주요한 역할을 하는 요소가 주기억장치 임을 확인하였다. 워크스테이션의 주기억장치 요구량도 개인용 컴퓨터 수준에 비해 매우 크기 때문에 주기억장치 용량의 부족은 어플리케이션의 원활한 구동을 저해하게 된다. 주기억장치 용량의 변화에 대한 3D CAD 어플리케이션의 성능 변화의 결과에서, 3D CAD 어플리케이션 구동에 요구되는 충분한 주기억장치 용량의 확보는 워크스테이션의 가장 중요한 성능 개선 요소이며, I/O 성능이 3D CAD 어플리케이션의 원활한 구동을 저해하는 경우도 주기억장치 용량의 증가로 시스템의 부하를 해결할 수 있었다. 이것은 어플리케이션 구동에 부족한 주기억장치 용량의 확보를 위해 보조 기억장치로의 잦은 접근을 요구하기 때문이며, 3D CAD 어플리케이션의 작업에 요구되는 I/O 성능도 감소시키게 된다.

일반적으로 멀티 태스크 운영체제에서는 주기억장치 용량의 상당 부분을 특정 어플리케이션에 할당하는 것을 보류하고 있다. 본 연구에서는 가능한 3D CAD 어플리케이션에 더 많은 주기억장치 용량을 할당하도록 하는 방법을 통하여 3D 그래픽스 성능을 향상시키는 방법을 시도하였다.

윈도우즈 NT 워크스테이션 계열 운영체제를 운용하는 32-비트 마이크로프로세서 환경에서 32-비트 어플리케이션에 최대 할당될 수 있는 주기억장치 용량은 주기억장치 용량 한계에 상관없이 약 1.5GB 정도이다. 본 논문에서는 워크스테이션의 윈도우즈 XP 프로페셔널 운영체제에서 프로세스 할당 최대 기억장치 용량을 3GB으로 확장한

상태에서 동일한 성능 평가를 수행하였다. Figure 6.2는 1GB 주기억장치의 싱글 프로세서 환경에서 프로세스 할당 주기억장치 용량을 3GB로 설정한 후 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0을 수행한 결과이다.

I/O와 파일 처리 시간에서 물리적인 주기억장치 용량을 확장한 경우에 못지 않게 성능 향상을 보여주고 있으며, 전체 수행 능력도 상당한 개선을 보여준다. 결과적으로 운영체제의 기억장치 환경을 운용 목적에 맞게 제어하므로써 3D CAD 어플리케이션을 운용 시에 워크스테이션의 부하를 제어할 수 있음을 확인하였다. 특히 I/O 항목에서의 개선이 상대적으로 큰 것을 알 수 있었다. 하지만 물리적인 주기억장치 용량이 2GB인 경우, 상대적으로 성능 향상은 거의 없었다. 3D CAD 어플리케이션의 주기억장치 요구량이 이미 충족된 환경에서는 상대적으로 이러한 방법의 효과가 적다고 볼 수 있다.

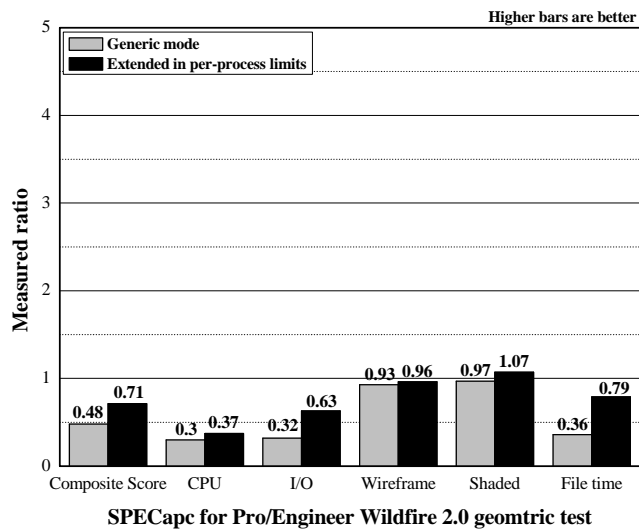


Figure 6.2 SPECapc for Pro/Engineer Wildfire 2.0 by Quadro4 740XGL in increasing the per-process memory limit in 32-bit application environment on Pentium 4 processor

최근 주요 3D CAD 어플리케이션 개정 속도는 평균적으로 약 1년 정도로 이전에 비해 매우 빨라지고 있다. 더불어 3D CAD 어플리케이션 운용에 요구되는 주기억장치의 요구량과 운용 데이터의 크기도 점점 증가하고 있다. 그 결과 현재 4GB의 물리적인 주기억장치 용량 한계를 가지는 32-비트 운영체제에 대한 문제가 부각되고 있다. 비록 단일 워크스테이션에서 2GB 이상의 3D CAD 데이터를 구성하는 것은 드문 일이기 때문에 당분간 특별한 문제로 인식되지 않을 수도 있지만, 대형 통합 어셈블리 작업 등

의 요구가 증가되면서 이러한 한계에 대한 해결책이 필요하다고 본다. 때문에 향후 워크스테이션의 64-비트 환경으로의 이전도 이러한 측면에서 하나의 해결 방안으로 고려할 수 있을 것이다..

현재 워크스테이션의 부족한 물리적인 주기억장치 용량에 대한 한계는 보조 기억장치 용량의 확보를 통하여 확장되고 있다. 비록 물리적인 주기억장치의 효율을 제공하지는 못하지만, 3D CAD 어플리케이션의 성능 개선에 있어 충분한 가상 기억장치 용량의 확보와 관리는 매우 중요하다. 때문에 보조 기억장치의 I/O의 성능은 3D CAD 어플리케이션뿐만 아니라 운영체제 차원에서도 전체 시스템 성능에 영향을 미치게 된다. 특히 데이터 파일의 입출력이 잦거나 대형 데이터 파일을 운영하는 3D CAD 어플리케이션 운용에 있어서는 보조 기억장치 공간을 별도의 분할 단위로 설정하고, 운영체제가 지원하는 최대 용량으로 설정하여 용량의 확장으로 인한 분할 단위의 프레그먼트를 발생을 방지하는 것이 필요하다.

6.2. 그래픽스 서브시스템 구성

그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 성능이 실제 3D 그래픽스 성능에 미치는 영향을 분석한 결과, OpenGL 3D-API 성능 평가에서는 각 그래픽스 서브시스템의 일반적인 공개된 성능에 따라 현저한 차이를 보여주었지만, 실제 3D CAD 어플리케이션 운용에서는 일치하는 결과를 보여주지 않았다. 3D CAD 어플리케이션을 위한 그래픽스 서브시스템의 성능 판단에 있어 제품 출시 개발 시기나 특정 드라이버의 유무 등은 실제 어플리케이션 성능 결정의 핵심 요인이 아니라는 것을 의미한다. 동일 계열의 그래픽스 프로세서를 사용하는 경우에 발생하는 OpenGL 3D-API 가속 성능의 차이도 3D CAD 어플리케이션 구동에서는 비례하는 성능 차이를 보여주지 못하고 있다. 결과적으로 워크스테이션 구축에 있어 그래픽스 서브시스템의 새로운 개정에 따른 무조건적인 시스템의 도입은 비효율적인 투자를 초래할 수 있다.

그래픽스 서브시스템이 제공하는 OpenGL 3D-API 가속 환경 요소의 제어에 따른 OpenGL 3D-API와 3D CAD 어플리케이션의 성능 변화는 적용되는 어플리케이션의 기능에 따라 10% 내외의 성능 차이를 보여주었다. 또한 주기억장치 용량 증가에 대해서도 OpenGL 3D-API 가속 성능에서는 거의 변화가 없지만, 3D CAD 어플리케이션에서는 10 ~ 25% 정도의 성능 변화를 보였다. 그러므로 운용 3D CAD 어플리케이션에 최적화된 그래픽스 서브시스템의 환경 설정으로 추가 비용을 발생시키지 않고 충분한 성능 개선의 효과를 예상할 수 있다.

워크스테이션 개발자 입장에서는 그래픽스 서브시스템에 대한 이러한 결과를 바탕으로 3D CAD 어플리케이션 사용자의 운용 환경과 목적에 대응하도록 시스템을 구축하므로 써 시스템 개발에 있어서의 경쟁력 향상이 적용할 수 있을 것이다. 하지만 현재 워크스테이션 시장에서 공급되는 OpenGL 그래픽스 서브시스템의 제품 범위가 매우 넓다는 점에서 모든 제품에 대하여 본 논문에서와 같은 성능 평가 정보를 비용 부담 없이 확보하기 어렵기 때문에, 3D 그래픽스 어플리케이션의 특정 사용 부문에 대한 그래픽스 서브시스템의 성능 정보를 확보하기 위한 노력이 필요하다.

OpenGL 3D-API는 워크스테이션과 운영체제에 대하여 독립된 프로그래밍 인터페이스라는 점에서 OpenGL 3D-API 가속의 제어는 그래픽스 서브시스템의 디바이스 드라이버에 의해 제어된다. 때문에 그래픽스 서브시스템의 디바이스 드라이버는 운용하는 워크스테이션 하드웨어, 운영체제 그리고 3D CAD 어플리케이션 간의 충돌 없는 최적 환경을 제공할 수 있어야 하며, 그래픽스 서브시스템 개발사들은 이를 위해 지속적인 디바이스 드라이버에 대한 개정이 요구된다. 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 가속 성능 제어 요소는 드라이버에 제공 여부가 결정되기 때문에 무조건적인 디바이스 드라이버 개정은 성능을 저하시킬 수 있는 위험이 있다. 때문에 워크스테이션 개발자는 최적 OpenGL 성능의 보장을 위해서는 그래픽스 서브시스템과 3D CAD 어플리케이션 간의 드라이버 호환성에 대한 점검이 필요하다. 예로서 HP 워크스테이션에서 퍼포먼스 튜닝 프레임이 제공하는 3D 그래픽스 환경 설정 기능은 실제 그래픽스 서브시스템의 각 드라이버와 3D CAD 어플리케이션 사이에 안정된 연결을 제공하는 기능이다^[48].

6.3. 운영 환경 개선에 의한 성능 변화

또한 워크스테이션의 운영체제는 시스템의 모든 하드웨어 요소를 관리한다는 점에서 OpenGL 3D-API와 3D CAD 어플리케이션의 운용에 큰 영향을 미치게 된다. 때문에 최근 운영체제의 용량과 자원 요구량이 급격히 증가하면서 워크스테이션의 자원을 소모한다는 점에서 상대적으로 작은 시스템 자원을 요구하는 운영체제에 비해 3D CAD 어플리케이션의 운용에 미치는 영향도 증가하고 있다. 상대적으로 적은 시스템 자원을 소비하는 운영체제에서는 OpenGL 3D-API 가속 성능이나 3D CAD 어플리케이션 성능 개선의 효과도 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 측면에서 시스템 자원의 소모가 적은 GNU/Linux 운영체제에서의 OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션 운용 성능에 대한 결과는 최적화된 워크스테이션 운영체제로서 도입 가능성을 확인할 수 있었다.

호스트 시스템이 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 명령을 생성하고 전달하는 과정에

서 최대 비율에 도달하면 병목 현상이 발생하기 때문에 앞서 기억장치 용량 확보에 의해 성능 저하를 방지할 수 있다. 수치 계산이 큰 CAE 어플리케이션이나 사용자와 상호작용을 하는 3D CAD 어플리케이션에서는 어플리케이션 자체의 운용 부하가 너무 커지면 그래픽스 서브시스템의 파이프라인을 제대로 사용하지 못한다. 현재 3D CAD 어플리케이션의 대형화로 인한 시스템 자원 요구 증가와 함께 운영체제의 규모도 증가하면서 이러한 문제의 발생이 증가할 수 있다는 점에서 GNU/Linux와 같은 워크스테이션 운영 환경의 선택도 고려할 수 있다.

OpenGL 프로그램 과정에서 운영 환경 개선을 통한 병목 현상 개선과 성능 향상에서도 임의 단계의 병목 현상 개선이 다른 단계에 적용되지 않는다는 점에서 그 프로그램 구조가 다를 수 있기 때문에, 워크스테이션과 3D CAD 어플리케이션에서의 병목 현상의 발생 파악이 우선적으로 요구되며, 사용자 측면에서는 환경 제어에 대한 여지를 제공하는 위한 방안이 OpenGL 프로그래밍 과정에서 개선될 필요가 있다.

7. 결론

OpenGL 3D-API 기반 3D CAD 어플리케이션 구동을 위한 엔지니어링 워크스테이션의 구축 과정에서 요구되는 OpenGL 가속 및 3D CAD 어플리케이션 운용 환경에 대한 정보 분석을 통하여 3D 그래픽스 하드웨어 및 소프트웨어 환경 설정에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3D 그래픽스 워크스테이션의 마이크로프로세서 구성에 있어, 싱글 프로세서 시스템이 멀티 프로세서 시스템에 비해 OpenGL 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션 운용 성능이 우수하다. 이것은 OpenGL 3D-API에 대한 멀티 쓰레드 지원 부족으로 기인하며, 고품질 렌더링 이미지 생성이나 엔지니어링 해석용이 아닌 3D CAD 워크스테이션 구축에는 싱글 프로세서 환경으로 효율적이다.

2. OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션의 성능이 확보되기 위해서는 주기억장치 용량의 확장이 가장 효율적인 방법이다. 적절한 용량의 주기억장치 및 보조기억장치 확보는 마이크로프로세서 및 그래픽스 서브시스템의 부하를 감소시켜 OpenGL 기반 3D 그래픽스의 최적 운용이 가능하게 한다. 또한 제한된 주기억장치 용량에서는 운영체제의 주기억장치 할당량을 강제로 3D CAD 어플리케이션에 최대로 할당하므로써 성능을 향상시킬 수도 있다.

3. 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 3D-API 가속 성능은 OpenGL 기반 3D CAD 어플리케이션의 성능 향상에 비례하지 않는다. 이것은 OpenGL 스펙의 개선에도 불구하고 3D CAD 어플리케이션과 같이 신뢰성이 요구되는 대형 어플리케이션은 기본적인 OpenGL 스펙으로 작성되기 때문이다. 3D CAD 어플리케이션을 위한 워크스테이션 구축에는 새로운 그래픽스 서브시스템에 비해 안정된 성능이 보장된 시스템의 도입이 요구된다.

4. 그래픽스 서브시스템의 OpenGL 환경 제어를 통하여 3D CAD 어플리케이션의 특정 기능에 대한 성능 개선이 가능하다. 3D CAD 어플리케이션의 특정 운용 환경과 OpenGL 그래픽스 서브시스템 및 드라이버 개정에 대한 정확한 정보를 확보하므로써 경쟁력 있는 워크스테이션 구축에 적용할 수 있다.

5. 시스템 자원의 소모가 윈도우에 비해 상대적으로 적은 GNU/Linux 환경에서의

OpenGL 3D-API 가속 성능과 3D CAD 어플리케이션 운영 평가를 통하여, 3D CAD 그래픽스 어플리케이션 운용에 특화된 워크스테이션 운영체제로서의 GNU/Linux의 효용성을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 3D 그래픽스 워크스테이션의 개발자 및 생산자 환경에 적용하여 실질적인 3D CAD 어플리케이션 운용을 위한 가격대성능비가 높은 효율적인 3D CAD 시스템 구축이 가능했으며, 또한 경쟁력 있는 새로운 워크스테이션 제품 개발에도 응용할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCE

- [1] Intergraph, “Personal Workstations Brochure”, 1996.
- [2] Anton Shilov, “Workstation Market Skyrocketed in 2005”, Xbitlabs.com, Apr. 2006.
- [3] Mark J. Kilgard, “OpenGL Programming for the X Window System”, Addison Wesley, 1996, pp. 39~42.
- [4] Mark Segal, Kur Akeley, The OpenGL Graphics System: A Specification (version 1.5), OpenGL ARB, 2003.
- [5] Standard Performance Evaluation Corporation, <http://www.spec.org/spec>.
- [6] Lee A. Butler, “Comparing CPU Performance between and within Processor Families”, The 25th Annual International Conference on Computer and Performance, 2000, pp. 421-430.
- [7] NTSL, “Comparative Study of Intel Xeon Processor vs. AMD MP Athlon Processor and the Sun UltraSPARC III RISC based Processor, NTSL TEST Report, Jan. 2003.
- [8] Joseph M. Mahoney, “3D Graphics Then and Now: From the CPU to the GPU”, Proceedings of 5th Winona Computer Science Undergraduate Research Seminar”, 2005.
- [9] Boris Metelitsa “Comparing Software Development Approaches for General Purpose GPU Computing”, 21st Computer Science Seminar.
- [10] Dell White Paper, “Performance Analysis of Intel Pentium M and Penitum 4 Processors”, Jul. 2005.
- [11] Les A. Piegl, “Ten Challenges in Computer-Aided Design”, COMPUER-AIDED DESIGN, Vol. 37, No. 4, 2004.
- [12] Carl Schmisdtmann, Michael Tao, Steven Watt, “Design and Implementation of a Multi-Threaded Xlib”, DEC and Xerox Corp., 1992.
- [13] 김재우, 박경환, “OpenGL에 기반한 다층적인 3차원 그래픽스 라이브러리의 개발”, 한국정보과학회 추계학술발표논문집, 1997, pp. 633-636.
- [14] 이준, 박성준, 김지인 “GPU 기반의 효율적인 거대 분자모델 실시간 렌더링 기법”, 한국컴퓨터그래픽스학회 추계학술대회논문집.
- [15] 임인성 외, “고급 렌더링 시스템의 설계 및 구현”, 한국정보과학회지, Vol.4, No. 5, 1998, pp. 633~643.
- [16] 남기훈, 하진식, 박재창, 이광엽, 내장형 3D 그래픽 가속을 위한 부동소수점 Geometry 프로세서 설계”, 대한전자공학회지, Vol. 43 No. 2, 2006, pp. 108~117.
- [17] 이동훈, OpenGL 기반 그래픽스 서브시스템의 성능평가에 관한 연구, 한국해양대학

교 공학석사학위논문, 2004.

[18] Dell White Paper, “Benchmarking Business and Consumer System Performance: Benefits of the Intel Pentium 4 and Xeon processors”, Nov. 2001.

[19] Brad Grantham, “Tutorial HL: Linux 3D Hardware Acceleration”, LinuxWorld 2000, San Jose, Jul. 2000.

[20] 김희중, 정재현, “OpenGL 그래픽스 서버 시스템 3D 가속 성능 향상에 대한 연구 – OpenGL 구동 환경 최적화 분석에 대한 연구”, 한국박용기관학회 춘계학술대회논문집, 2004, pp. 207~210.

[21] 김희중, 정재현, 3D 그래픽 어플리케이션 운용 플랫폼 개발: OpenGL 구동 환경 최적화에 대한 연구, 한국기계가공학회 추계학술대회 논문집, 2003, pp. 242~243.

[22] 김희중, 정재현, 최순호, “마이크로프로세서 구성에 따른 OpenGL 가속처리의 성능 변화에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, Vol. 30, No. 2, 2006, pp. 311~318.

[23] SPEC, “The OpenGL Performance Characterization Project Rules Version 2.0” Jan. 2006.

[24] SPEC, “The Application Performance Characterization Project Committee Rules Version 2.02”, May 2006.

[25] Douglas Hamilton, “Two Heads are Better than One”, IEEE Electronics and Software, Oct./Nov. 2004, pp. 15~19.

[26] Stanislav Garmatyuk, Evgeny Severinovsky, Intel XEON Processor Review, www.digit-life.com/articles/pentium4xeonsmp.

[27] Olaf Corten, “OCUS Benchmark”, <http://www.proesite.com>, 2005.

[28] White Paper, “Performance Report Celsius R630”, Fujitsu Siemens Computers, Mar. 2005.

[29] Dave Zenz, “Advances in Graphics Architectures”, Dell White Paper, Sep. 2002.

[30] ELSA, “ELSA Gloria 4, Graphics Know-How”, 2002, pp. 37~40.

[31] Mark Kilgard, Simon Hui, Allen Leinwand, Dave Spalding, “X Server Mutil-rendering for OpenGL and PEX”, 8th Annual X Technical Conference, Boston, MA. 1994.

[32] Jon Smirl, “The State of Linux Graphics”, people.freedesktop.org/~jonsmirl, 2005.

[33] Matthias Hopf, “Xgl – The Current Future of X”, SuSe Labs, 2006.

[34] Jean-Marc Dressler, Swamy M. Kandadai, “Performance of Scientific Applications on Linux Clusters”, IBM Performance Technical Report, Nov. 2001.

[35] 김희중, 정재현, “그래픽 서버시스템 최적화를 통한 CAD 시스템 성능 개선에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회논문집, 2005, pp. 257~258.

-
- [36] Tom Gaskins, "PEXlib Programming Manual, 3D Programming in X", O'Reilly & Assoc. 1992, pp. 22~33.
- [37] SunSoft, "Solaris OpenGL 1.1 Implementation and Performance Guide", SunSoft, 1997.
- [38] Derek Wilson, "Workstation Graphics: AGP Cross Section 2004", Anandtech.com, Dec. 2004.
- [39] Jim Brewer, Joe Sekei, "PCI Express technology", Dell White Paper, Feb. 2004.
- [40] 장동고, 김광수, "Stencil Buffer를 이용한 형상의 복셀화", 대한산업공학회 춘계공동 학술대회, 2002, pp. 266~271.
- [41] Biran Dipet, "Instigating a platform tug of war: Graphics vendors hunger for CPU suppliers' turf", EDN, Oct., 2005.
- [42] Ramesh Radarkrishnan, Jimmy Pike, Skipper Smith, "Intel Extended Memory 64 Technology", Dell White Paper, Aug. 2004.
- [43] William George, "Dual Processor vs Dual Core", <http://digitalproducer.com>, 2006.
- [44] Lou Baker, Bradley J. Smith, "Parallel Programming", McGraw-Hill, 1997.
- [45] Wei Li, Xiaohu Huang, Nanning Zheng, "Parallel implementing OpenGL on PVM", Parallel Computing, Vol. 23, No. 12, 1997.
- [46] Arrian N. Mehis, "Hyper-Threading and OpenMP", OpenMP.org, Nov. 2002.
- [47] Evgeny Severionovskiy, "Intel Hyper-Threading technology Review", digi-life.com.
- [48] HP, "Performance Tuning Framework Overview", Mar, 2005.